



---

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ- ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ- ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ  
ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΑΣΚΗΣΗ, ΕΡΓΟΣΠΡΟΜΕΤΡΙΑ ΚΑΙ  
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ»**

---

**ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ  
ΜΥΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΩΝ ΑΚΡΩΝ, ΣΕ ΑΘΛΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΛΠΙΚΟΥ ΣΚΙ,  
ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΚΑ ΗΜΕΡΩΝ ΣΤΟ ΧΙΟΝΙ, ΣΕ  
ΥΨΟΜΕΤΡΟ 3250 ΜΕΤΡΩΝ**

**ΑΔΕΞΑΝΔΡΟΣ ΤΣΑΚΝΑΚΗΣ  
ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ Ε.Κ.Π. Α.  
ΠΡΟΠΟΝΗΤΗΣ ΑΛΠΙΚΟΥ ΣΚΙ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Επιβλέπουσα, Ελένη Καρέτση, Επιμελήτρια Πνευμονολογικής Κλινικής  
Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Λάρισας, Διδάκτορας Πανεπιστημίου  
Θεσσαλίας

Μέλος επιτροπής, Ζωή Δανιήλ, Καθηγήτρια Πνευμονολογίας Ιατρικής Σχολής  
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Μέλος επιτροπής, Χρυσή Χατζόγλου, Καθηγήτρια Ιατρικής Φυσιολογίας  
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Λάρισα, 2018

**UNIVERSITY OF THESSALY  
SCHOOL OF HEALTH SCIENCES – FACULTY OF MEDICINE  
SCHOOL OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORT SCIENCE-  
DEPARTMENT OF PHYSICAL EDUCATION AND SPORT SCIENCE  
INTERDEPARTMENTAL POSTGRADUATE STUDY PROGRAMME  
«EXERCISE, ERGOSPIROMETRY AND REHABILITATION»**

**CARDIORESPIRATORY AND LIMB MUSCULAR STRENGTH CHANGES  
OF ALPINE SKIING ATHLETES, AFTER TEN DAYS OF TRAINING ON  
AN ALTITUDE OF 3.250 METERS**

**ALEXANDROS TSAKNAKIS**

**Certified Alpine Ski Coach**

**Physical Education and Sport Science Graduate, University of Athens**

**CONSULTING COMMITTEE**

**Supervisor, Dr. Eleni Karetsi, University Hospital of Larisa**

**Member, Dr. Zoe Daniil, Medical School of University of Thessaly**

**Member, Dr. Chrysi Chatzoglou, Medical School of University of Thessaly**

**LARISA, 2018**

# Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	8
ABSTRACT .....	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	12
ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΛΠΙΚΟ ΣΚΙ .....	12
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΑΣ .....	12
1.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΛΠΙΚΟΥ ΣΚΙ .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	15
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ .....	15
1.1 ΆΣΚΗΣΗ ΚΑΙ ΥΨΟΜΕΤΡΟ .....	15
1.2 ΔΙΑΒΙΩΣΗ ΧΑΜΗΛΑ ΜΕ ΑΣΚΗΣΗ ΣΕ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (LIVE LOW-TRAIN HIGH) .....	16
1.3 ΔΙΑΒΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΗ ΣΕ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (LIVE HIGH-TRAIN HIGH) ΚΑΙ ΔΙΑΒΙΩΣΗ ΣΕ ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΜΕ ΑΣΚΗΣΗ ΧΑΜΗΛΑ (LIVE HIGH-TRAIN LOW) .....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	31
ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ.....	31
2.1 ΥΠΟΞΙΑ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ .....	31
2.2 ΟΞΕΙΑ ΝΟΣΟΣ ΤΟΥ ΥΨΟΜΕΤΡΟΥ .....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	34
Η ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΚΟΠΩΣΗΣ.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	37
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΟ .....	37
4.1 ΣΚΟΠΟΣ .....	37
4.2 ΤΟΠΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	37
4.3 ΥΛΙΚΟ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	39
4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	40
4.4.1 Καρδιακή συχνότητα ηρεμίας.....	40
4.4.2 Οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός οξυγόνου .....	40
4.4.3 Το πρωτόκολλο της Καρδιοαναπνευστικής Δοκιμασίας Κόπωσης (ΚΑΔΚ).....	41
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗΣ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑΣ ΚΟΠΩΣΗΣ .....	41
ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗΣ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑΣ ΚΟΠΩΣΗΣ .....	41
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	41
ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΗΜΑ.....	42
ΚΟΡΕΣΜΟΣ ΑΡΤΗΡΙΑΚΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ(ΟΞΥΑΙΜΟΣΦΑΙΡΙΝΙΚΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΣ) .....	42
ΚΛΙΜΑΚΑ ΔΥΣΠΝΟΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΠΩΣΗΣ ΚΑΤΩ ΑΚΡΩΝ .....	42
4.4.4 Μέτρηση μέγιστου έργου (max load).....	43
4.4.5 Η διαδικασία μέτρησης της FEV1 .....	43
4.4.6 Αιματολογικές εξετάσεις.....	43
4.4.7 Δύναμη κάτω και άνω άκρων .....	43
4.5 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	45
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	45
5.1 ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ .....	45

5.1.1 Καρδιακή συχνότητα ηρεμίας στις 7:00 π.μ. ....	45
5.1.2 Καρδιακή συχνότητα ηρεμίας στις 21:00 μ.μ. ....	46
5.1.3 Οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός .....	47
5.2.1 Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_{2max}$ ).....	48
5.2.2 Μέγιστο έργο στο κυκλοεργόμετρο .....	49
5.2.3 Ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα το 1 <sup>ο</sup> sec (FEV1) .....	49
5.2.4 Τελοεκπνευστική μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου .	50
5.2.5 Αιματοκρίτης .....	51
5.2.6 Δύναμη κάτω άκρων.....	52
5.2.7 Δύναμη άνω άκρων .....	52
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....</b>	<b>53</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>53</b>
6.1. ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΣΕ ΗΡΕΜΙΑ .....	53
6.2. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΑΙΜΑΤΟΚΡΙΤΗ.....	54
6.3. ΜΕΓΙΣΤΗ ΠΡΟΣΛΗΨΗ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ( $VO_{2max}$ ), ΤΕΛΟΕΚΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΜΕΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΤΟΥ $CO_2$ (PETCO <sub>2</sub> ) ΚΑΙ ΤΟΥ $O_2$ (PETO <sub>2</sub> ), ΤΑΧΕΩΣ ΕΚΠΝΕΟΜΕΝΟΣ ΟΓΚΟΣ ΑΕΡΑ ΤΟ 1 <sup>ο</sup> SEC (FEV1), ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΡΓΟ ΚΑΤΩ ΑΚΡΩΝ (MAX LOAD) .....	55
6.3.1. Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_{2max}$ ).....	55
6.3.2 Τελοεκπνευστική μερική πίεση του $CO_2$ (PETCO <sub>2</sub> ) και του $O_2$ (PETO <sub>2</sub> ) .	56
6.3.3 Ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα το 1 <sup>ο</sup> sec (FEV1) .....	57
6.3.4 Μυϊκή ισχύς.....	57
6.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ .....	58
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>59</b>

## Πίνακες

<i>Πίνακας 1</i>	Σωματομετρικά δεδομένα (N=10)	Σελίδα 40
<i>Πίνακας 2</i>	Μετρήσεις, κατά την παραμονή και προπόνηση στο Hintertux. Οι μετρήσεις, στις 07:00 και 21:00, έγιναν μετά την πρωινή αφύπνιση και πριν την νυκτερινή κατάκλιση, σε υψόμετρο 720 m. Στις 12:00, έγιναν σε υψόμετρο 3250 m, αμέσως, μετά το πέρας της καθημερινής προπόνησης.	Σελίδα 45
<i>Πίνακας 3</i>	Μετρήσεις, πριν την μετάβαση, και μετά την επιστροφή από το Hintertux (N=10)	Σελίδα 47

## Εικόνες

<i>Εικόνα 1</i>	Τοιχογραφίες που απεικονίζουν ανθρώπους να φορούν σκι σε σπήλαιο στην Νορβηγία.	Σελίδα 13
<i>Εικόνα 2</i>	Αθλητής αλπικού σκι σε στιγμιότυπο στροφής Γιγαντιαίου Σλάλομ	Σελίδα 16
<i>Εικόνα 3</i>	Ορειβάτες κατά την διάρκεια ανάβασης στο Έβερεστ	Σελίδα 30
<i>Εικόνα 4</i>	Καρδιαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης σε κυκλοεργόμετρο	Σελίδα 36
<i>Εικόνα 5</i>	Προπονητικό περιβάλλον της ομάδας του ΕΟΣ Βόλου.	Σελίδα 39
<i>Εικόνα 6</i>	Μέση καρδιακή συχνότητα ηρεμίας το πρωί , πριν την έναρξη της περιόδου των προπονήσεων, και μετά το τέλος αυτών. (Κ.Σ. = Μέση Καρδιακή Συχνότητα	Σελίδα 46
<i>Εικόνα 7</i>	Μέση καρδιακή συχνότητα ηρεμίας, το βράδυ, στις 21.00, την πρώτη και την δέκατη ημέρα των προπονήσεων. (Κ.Σ. = Μέση Καρδιακή Συχνότητα).	Σελίδα 46
<i>Εικόνα 8</i>	Μέση τιμή του οξυαιμοσφαιρινικού κορεσμού, στις 07: 00 σε υψόμετρο 720 m. , σε σύγκριση με την τιμή μετά την	Σελίδα 47

	προπόνηση στις 12:00 και σε υψόμετρο 3250 m.	
<i>Εικόνα 9</i>	Μέση τιμή, της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, πριν και μετά την προετοιμασία των 10 ημερών στο Hintertux. (Vo2max = Μέγιστη Κατανάλωση Οξυγόνου)	Σελίδα 48
<i>Εικόνα 10</i>	Μεταβολή της μέγιστης επιβάρυνσης, πριν και μετά την προετοιμασία των 10 ημερών στο Hintertux	Σελίδα 49
<i>Εικόνα 11</i>	Μέση τιμή της FEV1 πριν και μετά την προετοιμασία 10 ημερών στο υψόμετρο.	Σελίδα 50
<i>Εικόνα 12</i>	Τελοεκπνευστική τάση διοξειδίου του άνθρακα (PETCO2) πριν και μετά την παραμονή στο Hintertux.	Σελίδα 50
<i>Εικόνα 13</i>	Τελοεκπνευστική τάση οξυγόνου (PETO2) πριν και μετά την παραμονή στο Hintertux	Σελίδα 51
<i>Εικόνα 14</i>	Μεταβολή του αιματοκρίτη, πριν και μετά την προετοιμασία των 10 ημερών στο Hintertux.	Σελίδα 51
<i>Εικόνα 15</i>	Μεταβολή της δύναμης των κάτω άκρων, πριν και μετά την προετοιμασία των 10 ημερών στο Hintertux.	Σελίδα 52

<i>Εικόνα 16</i>	Μεταβολή της δύναμης των άνω άκρων, πριν και μετά την προετοιμασία των 10 ημερών στο Hintertux	Σελίδα 53
------------------	--	-----------



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αγώνες χιονοδρομίας Αλπικού σκι, γίνονται, κατά κύριο λόγο σε υψόμετρα πάνω από 1000m. Δεν είναι σαφές τί συμβαίνει στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου και στο μυϊκό σύστημα των χιονοδρόμων του αλπικού σκι που διαβιούν σε χαμηλότερα υψόμετρα ή στο επίπεδο της θάλασσας, μετά από προετοιμασία σε υψόμετρο.

*Αθλητές και Μέθοδοι :* Δέκα χιονοδρόμοι του Ελληνικού Ορειβατικού Συλλόγου Βόλου, ηλικίας 11 έως 16 ετών, υποβλήθηκαν με την χρήση κυκλοεργόμετρου σε μέτρηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου καθώς και σε μέτρηση του ταχέως εκπνεόμενου όγκου αέρα το 1<sup>ο</sup> sec (FEV<sub>1</sub>), του αιματοκρίτη και της μυϊκής ισχύος στα άνω και κάτω άκρα, πριν την μετάβασή τους στο Hintertux των Αυστριακών Άλπεων σε υψόμετρο 720 m όπου και διέμεναν για δέκα ημέρες καθώς, και πέντε ημέρες, μετά την επιστροφή τους. Η εκτίμηση της μυϊκής ισχύος έγινε για μεν τα κάτω άκρα με την μέτρηση του συνολικού παραγόμενου έργου στο κυκλοεργόμετρο και με την μέτρηση του μήκους επιτόπιων αλμάτων, για δε τα άνω άκρα, με τον αριθμό των κάμψεων που έκαναν μέσα σε 60s. Η προπόνησή τους στην τεχνική και την γιγαντιαία τεχνική κατάβαση κατά το διάστημα αυτό γινότανε καθημερινά για τέσσερις ώρες στο υψόμετρο των 3250 m.

Κατά την παραμονή τους στο Hintertux, γινόταν καθημερινά, στις 07:00 με την πρωινή αφύπνιση και στις 21:00 πριν την νυκτερινή κατάκλιση, μέτρηση της καρδιακής συχνότητας ηρεμίας. Ο οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός μετριόταν καθημερινά, στις 07:00 στο υψόμετρο των 720 m, και το μεσημέρι με το πέρας της προπόνησης στα 3250 m.

*Αποτελέσματα :* Η μέση τιμή της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου παρουσίασε μικρή στατιστικά μη σημαντική μείωση, στα 46,47 ml/kg/min από 48,43 ml/kg/min ( $p=0,2$ , N.S). Η μέση τιμή του αιματοκρίτη εμφάνισε στατιστικά σημαντική αύξηση, 42,21%, έναντι 39,85% της αρχικής ( $p=0,002$ ). Η μέση τιμή της FEV<sub>1</sub>, δεν μεταβλήθηκε σημαντικά, 3,68 λίτρα, από 3,76 ( $p=0,23$  NS). Η μυϊκή ισχύς τόσο των άνω όσο και των κάτω άκρων παρουσίασε, στατιστικά σημαντική βελτίωση : Η μέση τιμή του μέγιστου παραγόμενου έργου αυξήθηκε στα 256 Watts από 243 Watts ( $p<0,05$ ) και η μέση τιμή του μήκους των επιτόπιων αλμάτων αυξήθηκε στα 203,3 cm από 188,8 cm

( $p < 0,05$ ). Στα άνω άκρα η μέση τιμή του αριθμού των κάμψεων μέσα σε 60s αυξήθηκε στις 48,9 κάμψεις από 37,6 ( $p < 0,05$ ).

Στις Αυστριακές Άλπεις η καρδιακή συχνότητα ηρεμίας παρουσίασε στατιστικά σημαντική αύξηση την δέκατη ημέρα, τόσο στις 07:00 όσο και στις 21:00. Η πρωινή τιμή αυξήθηκε στους 88 παλμούς/s από 81/s, ( $p = 0,026$ ) και η βραδινή στους 89 παλμούς/s από 83/s ( $p = 0,038$ ). Τέλος, ο οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός που ήταν 97,96% κατά την πρωινή έγερση στα 720 m, μετά τον νυκτερινό ύπνο στο υψόμετρο αυτό, έπεφτε στα 93,79%, το μεσημέρι στο υψόμετρο των 3250 m μετά το τέλος της προπόνησης ( $p < 0,0001$ )

*Συζήτηση / Συμπεράσματα :* Το πρότυπο «διαβίωση χαμηλά – προπόνηση υψηλά (“live low - train high”), στους αθλητές χιονοδρομίας της τεχνικής και γιγαντιαίας τεχνικής κατάβασης που διαμένουν στο επίπεδο της θάλασσας, προκαλεί αύξηση του αιματοκρίτη χωρίς να επιφέρει άμεση βελτίωση στην μέγιστη πρόσληψη του οξυγόνου, επηρεάζει όμως, θετικά την μυϊκή απόδοση των άνω και κάτω άκρων.

## **Λέξεις κλειδιά**

Χιονοδρομία, Μυϊκή ισχύς, Κατανάλωση οξυγόνου

## ABSTRACT

The aim of this work is, to investigate changes in cardiorespiratory, hematological, and muscular parameters of technical giant and technical alpine skiers, living on a sea level place, when skiing on a high-altitude area. *Athletes and Methods:* Volos, is a sea level city in Greece. Ten athletes of Volos Alpine Skiing Team, age 11 – 16 years old, had their hematocrit, upper and lower limb muscular strength, maximal oxygen uptake (Vo2max), and forced expiratory volume in the first second (FEV1), measured at sea level, and five days, after their return from annual ski training at Hintertux, Austria. At Hintertux, they were living at an altitude of 720m, and, training at 3250m, for five hours daily. A cycle ergometer, was used for Vo2max measurement. Lower extremities strength, was estimated, by the maximal load, during the ergometer test, and the length of the jump, they achieved, jumping from a certain point. Upper limbs strength was estimated, by the number of push-ups, they achieved in a 60s time.

When in Hintertux, they had their heart rate measured at 07:00, at awakening, and, at 09:00, before sleep. Hemoglobin saturation, measured daily, at 07:00, at the altitude of 720 m, and at the early afternoon, after the end of training, at 3250 m.

*Results:* Vo2max, showed no significant change, being 48.43 ml/kg/min, mean value before going to Hintertux, and 46.47 ml/kg/min, after return ( $p=0.2$  NS). FEV1, did not change significantly, mean value being 3.76 lt, before, and, 3.68 lt, after, ( $p=0.23$ ). Hematocrit, went up to 42.21%, mean value, from 39.58% ( $p=0.002$ ). Both upper and lower limb muscular strength, increased significantly after the mountain training in Austria: The number of push-ups in 60 seconds, increased to a mean value of 48.9, from 37.6 ( $p<0.05$ ). Maximal load on the cycle ergometer, went up to a mean value of 256 Watts, from 243 Watts ( $p<0.05$ ), and, the length of jumps from a certain point, increased to a mean value of 203.3 cm, from 188.8 cm ( $p<0.05$ ).

At Hintertux, mean value of resting heart rate, at the 10<sup>th</sup> day, increased significantly, in comparison to the first day: At 07:00, went up to 88/min, from 81/min ( $p=0.026$ ), and, at 21:00, 89/min, from 83/min, ( $p=0.038$ ). Finally, hemoglobin saturation, having a mean value of 97.96%, at awakening,

at the altitude of 720m, went down to 93.79%, at mid-day, at the altitude of 3250 meters, after training end ( $p < 0.0001$ ).

*Discussion / Conclusions:* Technical giant and technical skiing athletes, living on a sea level area, and following the model of “live low – train high” preparation, do not increase  $Vo_{2max}$ , but, they do increase, hematocrit, and, upper and lower limb muscular strength.

### **Key Words**

Skiing, Muscular Strength, Oxygen Uptake

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## ΧΙΟΝΟΔΡΟΜΙΑ ΚΑΙ ΑΛΠΙΚΟ ΣΚΙ

### 1.1 Ιστορικά στοιχεία Χιονοδρομίας

Η χιονοδρομία έχει πολύ μακρά ιστορία που φαίνεται ότι αρχίζει μερικές χιλιάδες χρόνια πριν. Τα παλαιότερα πέδιλα του σκι αναφέρονται στην Ρωσία και φαίνεται, ότι κατασκευάστηκαν γύρω στο 8000 π.Χ.

Η Νορβηγία είναι η πρώτη Ευρωπαϊκή χώρα που χρησιμοποιήθηκαν τα χιονοπέδιλα σαν μέσο μετακίνησης των ανθρώπων. Η πληροφορία αυτή προκύπτει από δύο τοιχογραφίες που βρέθηκαν σε σπήλαια στο Rodoy και στο Steinkjer, το 1933 και το 2001 αντίστοιχα, και χρονολογούνται μεταξύ 4500 και 5000 π.Χ. Στις παραστάσεις αυτές, απεικονίζεται ένας άνθρωπος να πατάει πάνω σε κάτι που μοιάζει με σκι, ενώ κρατάει μια βέργα (αρχέγονο μπατόν?) Στην Νορβηγία, οι κλιματικές συνθήκες με την άφθονη χιονόπτωση και τους παρατεταμένους χειμώνες, σε συνδυασμό με την διαμόρφωση του εδάφους, ευνοούσαν την μετακίνηση με συνδυασμό ολίσθησης και βαδίσματος πάνω στο χιόνι. Αυτό, επιτυγχάνονταν με την χρησιμοποίηση μιας «σανίδας», που προσαρμοζόταν σε κάθε ένα από τα δύο πέλματα. Εξάλλου, και η λέξη σκι, προέρχεται από την αρχαία νορβηγική skio, που σημαίνει «ξύλινο ραβδί». Στην Νορβηγία, όπως και στην υπόλοιπη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη, με την πάροδο του χρόνου εξαπλώθηκε η χρησιμοποίηση των σκι, όχι μόνο σαν μέσο μετακίνησης, αλλά και για πολεμικούς σκοπούς. Τα χιονοπέδιλα, εξελίχθηκαν μέσα στους αιώνες και πήραν τελικά την μορφή, που έχουν σήμερα [1].



*Εικόνα 1 Τοιχογραφίες που απεικονίζουν ανθρώπους να φορούν σκι σε σπήλαιο της Νορβηγίας.*

Στην Ελλάδα, η χιονοδρομία πρωτοεμφανίζεται σαν άθλημα στην δεκαετία του 1920. Την εισήγαγαν στην χώρα μας, Έλληνες φοιτητές που είχαν σπουδάσει σε Πανεπιστήμια της Δυτικής και της Κεντρικής Ευρώπης και την είχαν γνωρίσει στις χώρες των σπουδών τους. Οι πρώτοι Πανελλήνιοι αγώνες χιονοδρομίας έγιναν στην Πάρνηθα τον χειμώνα 1929-1930 [1].

Από πολύ παλαιότερα όμως στις ορεινές περιοχές της Ελλάδας, οι κάτοικοί τους χρησιμοποιούσαν διάφορους αυτοσχέδιους μηχανισμούς για να μετακινούνται τον χειμώνα επάνω στο χιόνι. Ένας τέτοιος μηχανισμός για τους κατοίκους της Ζαγοράς στο Ανατολικό Πήλιο ήταν τα «κύκλα», ένα ζευγάρι κύκλων από εύκαμπτο κλαδί λυγαριάς. Στην επιφάνειά τους υπήρχαν κλαδιά, που προσδένονταν στα δύο άκρα τους, στην περιφέρειά του κύκλου. Το αυτοσχέδιο αυτό, χιονοπέδιλο, προσδενότανε στα υποδήματα του κάθε ποδιού και, με αυτά, οι κάτοικοι βάδιζαν πάνω στο χιόνι χωρίς να βυθίζονται σε αυτό [2].

## 1.2. Χαρακτηριστικά του Αλπικού Σκι

Στα αγωνίσματα της χιονοδρομίας περιλαμβάνονται δύο αγωνίσματα ταχύτητας και δύο τεχνικά. Στην πρώτη ομάδα, ανήκουν η ελεύθερη κατάβαση (downhill race) και η υπεργιγαντιαία τεχνική κατάβαση (super giant slalom). Στην δεύτερη, ανήκουν, η τεχνική κατάβαση (slalom), και η γιγαντιαία τεχνική κατάβαση (giant slalom).

Η ελεύθερη κατάβαση, έχει λίγες στροφές και διαρκεί 2-3min, ενώ, η υπεργιγαντιαία τεχνική κατάβαση, 1-2min και έχει περισσότερες στροφές από την προηγούμενη με μικρότερο όμως, μήκος διαδρομής. Οι ταχύτητες, που επιτυγχάνονται στην ελεύθερη κατάβαση, μπορεί να φθάσουν ή και να υπερβούν τα 130 km/h, ενώ, στην υπεργιγαντιαία τεχνική κατάβαση, είναι μικρότερες.

Τα τεχνικά αγωνίσματα, τεχνική κατάβαση και γιγαντιαία τεχνική κατάβαση έχουν πολύ μικρότερη διάρκεια, 45sec έως 60sec η πρώτη και 55sec έως 80sec η δεύτερη και διεξάγονται σε πλαγιές με μεγαλύτερη κλίση ως επι το πλείστον. Έχουν περισσότερες στροφές με μικρότερη ακτίνα, και μικρότερες ταχύτητες, σε σύγκριση με τα αγωνίσματα ταχύτητας. Από τα δύο αυτά αγωνίσματα, η τεχνική κατάβαση έχει τις περισσότερες στροφές, τις μικρότερες ακτίνες στροφής και τις μικρότερες ταχύτητες, 20 έως 40 km/h [3].

Η χιονοδρομία σαν άθλημα έχει πολλές ιδιαιτερότητες : Διεξάγεται πάντοτε σε υψόμετρο και κάτω από αντίξοες συνήθως περιβαλλοντικές και κλιματικές συνθήκες. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι ενίοτε πολύ χαμηλή, και η ποιότητα του χιονιού, είναι μεταβαλλόμενος παράγοντας (παγωμένο, μαλακό, φρέσκο) και επηρεάζει την απόδοση των αθλητών. Τόσο η προπόνηση, όσο και οι περισσότεροι αγώνες γίνονται, είτε σε μικρά υψόμετρα (500 m – 2000 m), είτε, σε μέτρια (2000 m – 3000 m), όχι πάντως στο επίπεδο της θάλασσας [4].

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1.1 Άσκηση και υψόμετρο

Το 1968 στους Ολυμπιακούς αγώνες του Μεξικό που διεξήχθησαν σε υψόμετρο 2300 m, έγινε για πρώτη φορά στην ιστορία του αθλητισμού, αντιληπτή η ευνοϊκή επίδραση που έχει στην απόδοση των αθλητών, η άσκηση σε υψόμετρο.

Έκτοτε, αναπτύχθηκαν και εφαρμόζονται οι παρακάτω τρεις συνδυασμοί, ανάμεσα στο υψόμετρο που ζει ο αθλητής και στο υψόμετρο που αθλείται και οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω:

- 1) Διαβίωση χαμηλά με Άσκηση σε υψόμετρο (live low - train high),
- 2) Διαβίωση και Άσκηση σε υψόμετρο (live high – train high)
- 3) Διαβίωση σε υψόμετρο με Άσκηση χαμηλά (live high – train low)

Οι περισσότερες, αν όχι όλες, οι σχετικές μελέτες, αφορούν αθλήματα που βασίζονται στον αερόβιο μεταβολισμό όπως είναι οι δρόμοι μεγάλων αποστάσεων και η ποδηλασία, ενώ από πλευράς χιονοδρομίας, το σκι ανωμάλου δρόμου και το δίαθλο (σκι δρόμων αντοχής και σκοποβολή). Δεν περιλαμβάνονται η γιγαντιαία τεχνική και η τεχνική κατάβαση, οι οποίες, βασίζονται, σε ποσοστό 60%, τουλάχιστον στον αναερόβιο μεταβολισμό.

Όλες λοιπόν αυτές οι μελέτες έχουν δείξει ότι, η βελτίωση της απόδοσης των αθλητών, μετά από προετοιμασία σε υψόμετρο, της οποίας η διάρκεια ποικίλει, οφείλεται, πρώτιστα, στην αύξηση της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου ( $\dot{V}O_2 \max$ ) που είναι το αποκλειστικό «καύσιμο» στον αερόβιο μεταβολισμό. Σημαντικός αλλά, όχι αποκλειστικός παράγοντας στην αύξηση της κατανάλωσης οξυγόνου είναι η αύξηση του όγκου της αιμοσφαιρίνης στο αίμα, του «οχήματος», δηλαδή, μεταφοράς οξυγόνου, μέσω της αυξημένης παραγωγής ερυθρών αιμοσφαιρίων. Ερέθισμα για την αύξηση της ερυθροποίησης, είναι η αύξηση της παραγωγής ερυθροποιητίνης από τους νεφρούς. Υποβοηθητικοί παράγοντες στην αύξηση της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, είναι και ο αυξημένος αερισμός, η αύξηση της διάχυσης δια μέσου



της αναπνευστικής μεμβράνης, η αύξηση της καρδιακής συχνότητας, καθώς και μεταβολές, που συμβαίνουν στους μύες.

Σε αυτή την μελέτη θα ερευνηθεί τι συμβαίνει στους χιονοδρόμους γιγαντιαίας τεχνικής και τεχνικής κατάβασης - καθυπεροχή αναερόβια αθλήματα - με την μέτρηση της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, της αιμοσφαιρίνης, του ταχέως εκπνεόμενου όγκου αέρα το 1<sup>ο</sup> sec (FEV1), καθώς και της μυϊκής ισχύος των άνω και κάτω άκρων πριν και μετά την προετοιμασία τους, για τρεις εβδομάδες, στα αθλήματα αυτά, σε υψόμετρο 3250 m, στις Άλπεις και διαμονή στα 720 m.



*Εικόνα 2 Αθλητής αλπικού σκι σε στιγμιότυπο στροφής Γιγαντιαίου Σλάλομ*

## **1.2 Διαβίωση χαμηλά με άσκηση σε υψόμετρο (live low-train high)**

Η προπονητική αυτή μέθοδος, είναι ταυτόσημη με άσκηση χωρίς να προηγηθεί ο εγκλιματισμός του αθλητή.

Η μερική πίεση του οξυγόνου μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου. Αυτό οδηγεί σε μείωση της μερικής πίεσης του οξυγόνου στο αίμα και τελικά σε μείωση του οξυαιμοσφαιρινικού κορεσμού και του οξυγόνου που είναι διαθέσιμο για το μυϊκό σύστημα. Η μεταβολή αυτή πυροδοτεί σε βάθος χρόνου την ενεργοποίηση αντιρροπιστικών μηχανισμών, οι οποίοι θα αναλυθούν

παρακάτω. Μέχρι να συμβεί όμως αυτό, η απόδοση στα αθλήματα που στηρίζονται στην παροχή ενέργειας μέσω του αερόβιου μεταβολισμού μειώνεται.

Από το άλλο μέρος, η αντίσταση του αέρα είναι μειωμένη λόγω του υψομέτρου, στοιχείο που ευνοεί την ανάπτυξη μεγαλύτερων ταχυτήτων.

Επιπρόσθετα, το άθλημα της χιονοδρομίας και ιδίως τα τεχνικά αθλήματα, βασίζονται σε βραχείας διάρκειας έντονες και επαναλαμβανόμενες μυϊκές συσπάσεις, που απαιτούν την απελευθέρωση μεγάλων ποσών ενέργειας, σε πολύ βραχύ χρονικό διάστημα [5].

Η μείωση της μέγιστης κατανάλωσης του οξυγόνου, όταν κάποιος αθλείται σε υψόμετρο, οφείλεται στην μειωμένη πρόσληψη του οξυγόνου από τους ασκούμενους μύες, λόγω της μειωμένης παροχής του. Παλαιότερα, υπήρχε η άποψη ότι υπάρχει ένας ουδός στο υψόμετρο από την υπέρβαση του οποίου και μόνο άρχιζε η μείωση της μέγιστης κατανάλωσης του οξυγόνου. Από μία μελέτη όμως που πραγματοποίησε η ομάδα των Wehrlin και Hallen το 2006, διαπιστώθηκε, ότι η σχέση, ανάμεσα, στο ποσοστό της μείωσης της μέγιστης κατανάλωσης του οξυγόνου και στο υψόμετρο, είναι γραμμική και ότι, η  $VO_{2max}$ , μειώνεται, κατά 6,3%, για κάθε 1000 m υψομέτρου [6]. Σύμφωνα, λοιπόν, με την μετανάλυση αυτή, άσκηση σε υψόμετρο μόλις, 300 m, η οποία, παλαιότερα θεωρούνταν ότι δεν είχε καμία επίδραση στην μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου, μπορεί εν τούτοις, να μειώσει την  $VO_{2max}$  κατά 3%, περίπου.

Ωστόσο, η τιμή του 6,3%, της μείωσης για κάθε 1000m υψομέτρου της μέγιστης κατανάλωσης του οξυγόνου, είναι μία μέση τιμή, που σαφώς, δεν αφορά, και τον κάθε ένα αθλητή ξεχωριστά. Φαίνεται ότι, κατά την άσκηση σε υψόμετρο, η  $VO_{2max}$ , μειώνεται στους αθλητές εκείνους, που το ίδιο συμβαίνει σε μικρότερο, βέβαια, βαθμό, και κατά την άσκηση στο επίπεδο της θάλασσας.

Έχει διαπιστωθεί, ότι στο 50% των αθλητών, κατά μέσο όρο, μειώνεται ο οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός ακόμη και όταν ο αθλητής υποβάλλεται σε μέγιστη άσκηση στο υψομετρικό επίπεδο της θάλασσας [7]. Η διαφορά αυτή στην μείωση του κορεσμού φαίνεται, ότι οφείλεται στη διαφορετική, για κάθε αθλητή, μεταβολή της σχέσης, ανάμεσα στην αιμάτωση και τον αερισμό, τμημάτων των πνευμόνων, λόγω ποικίλων παραγόντων. Αναφέρονται, ανατομικές ανωμαλίες που παρεμποδίζουν την δυνατότητα των πνευμονικών

αγγείων, των αεραγωγών ή και των δύο να ανταποκριθούν με διαστολή τους στις αυξημένες ροές, εκκρίσεις στις αεροφόρους οδούς ή διάμεσο πνευμονικό οίδημα που δυσχεραίνει την διάχυση των αερίων, και ανεπαρκής αύξηση της συχνότητας των αναπνοών κατά την άσκηση λόγω ανασταλτικών κεντρομόλων ερεθισμάτων από τους αναπνευστικούς μύες [8].

Με την εξέταση της μαγνητικής τομογραφίας, έχει αποδειχθεί ότι η ανισοκατανομή της πνευμονικής αιμάτωσης, επιδεινώνεται μετά την έντονη άσκηση [9]. Στο θέμα αυτό, ωστόσο, δεν υπάρχει ομοφωνία. Με την εφαρμογή της τεχνικής Multiple Breath Nitrogen Washout (Έκπλυση Νιτρωδών με Πολλαπλές Εκπνοές), προέκυψε, το διαμετρικά αντίθετο αποτέλεσμα, ότι δηλαδή, η ανισοκατανομή της πνευμονικής αιμάτωσης δεν μεταβάλλεται με την άσκηση [10].

Οι δρομείς λοιπόν μεγάλων αποστάσεων στους οποίους κατά την έντονη άσκηση στο επίπεδο της θάλασσας ο οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός πέφτει κάτω από το 90%, αν ασκηθούν σε υψόμετρο 1000 m, μειώνεται η  $Vo_{2max}$  κατά 4,2%. Αντίθετα, σε αυτούς, που ο κορεσμός κατά την άσκηση στο επίπεδο της θάλασσας δεν πέφτει κάτω από 92%, η  $Vo_{2max}$ , δεν μειώνεται κατά την άσκηση, στο υψόμετρο των 1000 m [11]. Προκύπτει λοιπόν, ότι η τιμή του οξυαιμοσφαιρινικού κορεσμού σε αθλήματα αντοχής στο επίπεδο της θάλασσας, είναι ο κρίσιμος αριθμός που καθορίζει την συμπεριφορά της μείωσης της  $VO_{2max}$ , κατά την άθληση σε υψόμετρο : Με τιμές, πάνω από 92%, παραμένει αμετάβλητη σε άσκηση, σε υψόμετρο μέχρι 1000 m [11].

Είναι επίσης γνωστό ότι οι αθλητές στα αγωνίσματα αντοχής, όταν αγωνίζονται σε υψόμετρο, και πριν αποδώσουν οι αντιρροπιστικοί μηχανισμοί που θα αναλυθούν πιο κάτω, συνειδητά, μειώνουν την απόδοσή τους, λόγω επίτασης κεντρομόλων ερεθισμάτων από τους μύες προς τον εγκέφαλο, που συμβάλουν στην αντίληψη της κόπωσης [12, 13].

Τα αθλήματα της χιονοδρομίας, και ιδιαίτερα τα τεχνικά, είναι, καθυπεροχή αναερόβια, όπως θα αναλυθεί παρακάτω και επομένως η μείωση της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, δεν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των αθλητών. Αυξάνει, όμως τον χρόνο που απαιτείται να μεσολαβήσει ανάμεσα σε δύο διαδρομές, χρόνος, απαραίτητος, για την καύση του γαλακτικού οξέος που αθροίστηκε, λόγω της έντονης μυικής προσπάθειας. Από μία μελέτη που έγινε σε ποδηλάτες, προέκυψε ότι, αν ο χρόνος ανάμεσα στην πρώτη και δεύτερη,

υψηλής έντασης και βραχείας διάρκειας διαδρομή, (που απαιτούν συμμετοχή του αναερόβιου μεταβολισμού σε σημαντικό βαθμό, όπως θα αναλυθεί παρακάτω) ήταν ίσος με τον χρόνο της διαδρομής, τότε υπήρχε αυξημένη αίσθηση κόπωσης, με συνοδό μείωση της μυικής ισχύος μέχρι και 10%. Αντίθετα, αν ο χρόνος αυτός ήταν τριπλάσιος, το υψόμετρο δεν φαίνεται να επηρέαζε την απόδοση [12].

Η προοδευτική μείωση της πυκνότητας του ατμοσφαιρικού αέρα με την αύξηση του υψομέτρου, μειώνει την τριβή και ευνοεί την ανάπτυξη μεγαλύτερων ταχυτήτων. Το άθλημα της χιονοδρομίας πάντοτε διεξάγεται σε υψόμετρα και επομένως δεν είναι δυνατή η σύγκριση, με ταχύτητες που επιτυγχάνονται στο επίπεδο της θάλασσας. Ο συντελεστής τριβής, γενικά, επηρεάζεται από τον σωματότυπο και το βάρος του αθλητή, από την πυκνότητα του μέσου, μέσα στο οποίο κινείται ο αθλητής (αέρας ή νερό) και από την ταχύτητά του. Αν το μέσο είναι ο αέρας, όπως στην χιονοδρομία, έχει υπολογισθεί, σε μία μελέτη που έγινε σε ποδηλάτες, ότι η τριβή είναι ευθέως ανάλογη προς το τετράγωνο της ταχύτητας [14]. Σχετικά με την μείωση της τριβής, με την αύξηση του υψομέτρου, έχει υπολογισθεί ότι αυτή μειώνεται κατά 3%, περίπου, για κάθε 305 m. Σύμφωνα με ένα μοντέλο σε υπολογιστή, που επινόησαν οι DeKoning και van Ingen Schenau, ο χρόνος, που χρειάζεται ένας χιονοδρόμος για να διανύσει μία διαδρομή 500 m, σε υψόμετρο 1300 m, είναι μειωμένος, κατά 4,7%, σε σύγκριση με εκείνον που χρειάζεται σε υψόμετρο 126 m, με την προϋπόθεση ότι η δύναμή του στα πόδια και η ποιότητα του χιονιού παραμένουν αμετάβλητες [4].

Η μείωση του συντελεστή τριβής με τον αέρα, που συμβαίνει σε υψόμετρα, δρα προς την αντίθετη κατεύθυνση με την μείωση του  $Vo_{2max}$  στην απόδοση του αθλητή, σε αγωνίσματα αντοχής [4]. Υπάρχει μάλιστα τιμή υψομέτρου στην οποία, το τελικό αποτέλεσμα αυτών των δύο παραμέτρων, καταλήγει προς όφελος της μείωσης της τριβής με τον αέρα. Ο Perronet, με ένα μαθηματικό μοντέλο που επινόησε και αφορά το αγώνισμα της κάλυψης 1000m με ποδήλατο, βρήκε, ότι το ιδανικό υψόμετρο ώστε ο αθλητής να επιτύχει το βέλτιστο αποτέλεσμα, είναι μεταξύ των 3400 m και 4000 m [15].

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το άθλημα της χιονοδρομίας, βασίζεται σε βραχείας διάρκειας έντονες και επαναλαμβανόμενες μυϊκές συσπάσεις, που απαιτούν την απελευθέρωση μεγάλων ποσών ενέργειας, σε πολύ βραχύ χρονικό διάστημα

[5]. Έχει υπολογισθεί ότι στην διάρκεια μιας διαδρομής γιγαντιαίας κατάβασης, οι αρθρώσεις των ισχίων και των γονάτων μεταβάλλουν τις γωνίες τους με μεγάλη ταχύτητα, που φθάνει τις 20 έως 40 μοίρες το δευτερόλεπτο, με τις γωνίες των αρθρώσεων αυτών, να κινούνται καθόλη την διάρκεια της διαδρομής, ανάμεσα στις 60 και 114 μοίρες [5]. Το κάθε ζεύγος στροφών (αριστερή μαζί με την δεξιά), διαρκεί  $3,5 \pm 0,6$  δευτερόλεπτα, και οι μύες του εξωτερικού ποδιού της στροφής, αναπτύσσουν κατά την κάμψη του γόνατος (έκκεντρη δράση του μυός) μεγαλύτερη δύναμη σε σύγκριση με τον αντίστοιχο μυ του άλλου ποδιού. Η διάρκεια της σύσπασης των μυών αυτών, είναι  $1 \pm 0,2$  sec, και η φάση αυτή, είναι στατιστικά, σημαντικά μεγαλύτερη ( $p < 0,05$ ) του χρόνου των  $0,5 \pm 0,1$  sec, που διαρκεί η φάση σύσπασης στην αλλαγή της στροφής (κεντρική δράση του μυός). Η ισχύς, που αναπτύσσουν οι μύες του εξωτερικού ποδιού της στροφής στην έκκεντρη φάση, είναι μεγαλύτερη από την ισχύ που αναπτύσσουν οι ίδιοι μύες κατά την κεντρική φάση και ισούνται με αυτήν που καταγράφεται κατά την μέγιστη ισομετρική έκταση του ποδιού στο εργαστήριο. Έκκεντρη φάση της σύσπασης του μυός είναι εκείνη, που ανταγωνίζεται την βαρύτητα και στην ουσία, πρόκειται για ισομετρική σύσπαση [5].

Στην ποδηλασία, και στο τρέξιμο μεγάλων αποστάσεων, η σύσπαση των μυών, είναι πάντοτε κεντρική, δηλαδή ισοτονική, ενώ η χιονοδρομία, είναι το μόνο άθλημα με καθυπεροχή έκκεντρη, δηλαδή ισομετρική, λόγω της ανάγκης για εξουδετέρωση της βαρύτητας, κατά την συνεχή ολίσθηση στην κατωφέρεια της πλαγιάς. Η έκκεντρη αυτή σύσπαση των μυών των κάτω άκρων, έχει σαν συνέπεια, να αυξάνεται η πίεση μέσα στους μύες, να πιέζονται τα ενδομυϊκά αγγεία, με συνοδό παρακώλυση της αιματικής ροής, και τελικό αποτέλεσμα την ισχαιμία και την δυσχέρεια στην τροφοδότηση των μυών με οξυγόνο και γλυκόζη, γεγονός, που ευνοεί τον αναερόβιο μεταβολισμό της γλυκόζης, με αποδόμηση του γλυκογόνου. Έχει διαπιστωθεί, ότι μετά τον τερματισμό της κατάβασης, τα αποθέματα γλυκογόνου των μυών έχουν μειωθεί κατά 50% και το γαλακτικό οξύ στο αίμα έχει αυξηθεί, απόδειξη, της συμμετοχής του αναερόβιου στοιχείου του μεταβολισμού στο άθλημα της χιονοδρομίας. Λόγω της ισχαιμίας, προκαλείται και βαθμός μυϊκής βλάβης, όπως προκύπτει, από την αύξηση της μυοσφαιρίνης και της κρεατινιφωσφοκινάσης, ουσιών που περιέχονται στους μύες και παρατηρείται στο τέλος της διαδρομής. Φαίνεται,

ότι η μείωση της αιμάτωσης, στο τέλος της διαδρομής, είναι μεγαλύτερη στην γιγαντιαία, από ό,τι στην τεχνική κατάβαση [17, 18]. Από μελέτες που έγιναν από τους Veicsternas και Saibene και τους συνεργάτες τους, το 1984 και 1985, αντίστοιχα, προκύπτει, ότι η χιονοδρομία βασίζεται, κατά 60 έως 65%, περίπου, στην αναερόβια συνιστώσα του μεταβολισμού [18, 19]. Φαίνεται ότι, το ποσοστό συμμετοχής του αναερόβιου μεταβολισμού με την ολοκλήρωση της διαδρομής, αυξάνει, όσο μειώνεται ο χρόνος που απαιτείται [20]. Οι Veicsternas και συν. υπολόγισαν, ότι το ενεργειακό κόστος για μία διαδρομή τεχνικής κατάβασης, είναι το ίδιο, με αυτήν, της γιγαντιαίας τεχνικής κατάβασης. Επειδή, όμως, η τεχνική κατάβαση, διαρκεί 15 δευτερόλεπτα, κατά μέσον όρο, λιγότερο, από την γιγαντιαία τεχνική κατάβαση, ο ρυθμός που καταναλώνεται η ενέργεια, στην πρώτη, είναι μεγαλύτερος, γεγονός, που απαιτεί την μεγαλύτερη συμμετοχή της αναερόβιας συνιστώσας του μεταβολισμού σε αυτήν [18]. Όπως όμως έχει ήδη αναφερθεί ο αερόβιος μεταβολισμός, είναι απαραίτητος για την καύση του γαλακτικού οξέος που έχει παραχθεί κατά την υψηλής έντασης και βραχείας διάρκειας ποδηλατική διαδρομή [12]. Το ίδιο συμβαίνει και με τα τεχνικά αγωνίσματα της χιονοδρομίας [21].

Συμπερασματικά, η απόδοση του αθλητή που ζει στο επίπεδο της θάλασσας όταν αγωνίζεται σε αρκετό υψόμετρο χωρίς να προηγηθεί κάποιας διάρκειας παραμονή σε αυτό ώστε να εγκλιματισθεί (live low-train high), επηρεάζεται από δύο παραμέτρους :

1) Την επίδραση της μειωμένης τάσης του οξυγόνου, που συνεπάγεται μείωση της παροχής του στους μύες. Αυτό επηρεάζει αρνητικά την απόδοση κατά την διάρκεια του αθλήματος σε βαθμό που είναι ευθέως ανάλογος του ποσοστού, κατά το οποίο το συγκεκριμένο άθλημα βασίζεται στον αερόβιο μεταβολισμό. Επηρεάζει όμως αρνητικά και την διάρκεια της ανάνηψης μετά την οξεία προσπάθεια του αθλήματος, αυξάνοντας τον χρόνο που απαιτείται για την καύση του γαλακτικού οξέος.

2) Την ευνοϊκή επίδραση της μειωμένης πυκνότητας του ατμοσφαιρικού αέρα στις ταχύτητες, που επιτυγχάνει ο αθλητής. Επιπρόσθετα, υπάρχουν και διαφορές από αθλητή σε αθλητή στην άμεση επίδραση που έχει το υψόμετρο στην μείωση της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου.

### **1.3 Διαβίωση και άσκηση σε υψόμετρο (live high-train high) και διαβίωση σε υψόμετρο με άσκηση χαμηλά (live high-train low)**

Οι δύο αυτές πρακτικές συνεξετάζονται διότι και οι δύο έχουν σαν «κοινό παρονομαστή» τον εγκλιματισμό στο υψόμετρο και επωφελούνται από τα εξ αυτού οφέλη. Πολλοί αθλητές χρησιμοποιούν μία από τις δύο αυτές προπονητικές μεθόδους για να εκμεταλλευτούν τις άμεσες προσαρμογές του υψομέτρου, σε αγώνες, που γίνονται σε χαμηλό ή μεγάλο υψόμετρο.

Όπως έχει ήδη τονισθεί, όλες σχεδόν οι μελέτες που έχουν δημοσιευθεί, αφορούν αερόβια αγωνίσματα, δηλαδή αγωνίσματα αντοχής.

Σαν εγκλιματισμός του αθλητή, νοείται το σύνολο των φυσιολογικών μεταβολών που γίνονται στον οργανισμό με σκοπό να βελτιώσουν την ποσότητα του οξυγόνου που μεταφέρεται προς τους μύες και καταναλίσκεται από αυτούς, αλλά και την απόδοση του αθλητή στις συνθήκες μειωμένης παροχής του οξυγόνου που επικρατούν σε υψόμετρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

Στις άμεσες μεταβολές αυτές περιλαμβάνονται:

- η αύξηση της αιμοσφαιρίνης, δηλαδή του «οχήματος» μεταφοράς του οξυγόνου,
- η αύξηση του αερισμού των πνευμόνων,
- και η αύξηση της καρδιακής συχνότητας ηρεμίας.

Αυτό εκμεταλλεύονται και οι αθλητές κάνοντας προπόνηση στο υψόμετρο ενώ διαμένουν πιο χαμηλά. Έτσι έχουν πλήρη αποκατάσταση της μερικής τάσης του οξυγόνου στο αίμα κατά την νυχτερινή κατάκλιση και με αυτή την μέθοδο, αποφεύγουν την νόσο του υψομέτρου, που αν εκδηλωθεί, μειώνει την απόδοσή τους

Μεταβολές όμως συμβαίνουν και στους μύες που εμπλέκονται στο συγκεκριμένο άθλημα και είναι:

- η αύξηση της πυκνότητας του περιμυϊκού τριχοειδικού δικτύου,
- η αύξηση της μυοσφαιρίνης,
- και η αύξηση του αριθμού και της κατανομής των μιτοχονδρίων μέσα στους μύες.

Στα πλαίσια των καρδιοαναπνευστικών προσαρμογών στο υψόμετρο, περιλαμβάνεται και η μικρή μείωση του όγκου του πλάσματος, με συνέπεια

την μείωση και του συνολικού όγκου του αίματος, που καταλήγει, σε μείωση του όγκου παλμού και μικρή μείωση της καρδιακής παροχής. Αυτό, σε συνδυασμό με την αντιρροπιστική μείωση των διττανθρακικών, επηρεάζει αρνητικά την απόδοση, στοιχεία, που οδηγούν μερικούς αθλητές να αποφεύγουν τον εγκλιματισμό και να αγωνίζονται αμέσως, μόλις φθάσουν στο υψόμετρο, που είναι οι αγώνες ή η προπόνηση, εκμεταλλευόμενοι το πλεονέκτημα της μείωσης της τριβής με τον αέρα [4].

Ενδιαφέροντα, είναι, και τα ερωτήματα, που αφορούν:

- πιο είναι το ιδανικό υψόμετρο παραμονής του αθλητή,
- πόσος, είναι ο χρόνος, που απαιτείται για τον εγκλιματισμό,
- και για πόσο χρονικό διάστημα, παραμένουν οι προσαρμογές αυτές, μετά την επιστροφή στο επίπεδο της θάλασσας [4].

Κομβικό στοιχείο στον εγκλιματισμό, κατέχει η αύξηση της παραγωγής της ερυθροποιητίνης, μιας ορμόνης, που εκκρίνεται από τους νεφρούς, και προάγει την ερυθροποίηση, επιταχύνοντας την ωρίμανση των ερυθροβλαστών στον μυελό των οστών και, την εξέλιξή τους προς ερυθρά αιμοσφαίρια. Η μειωμένη μερική τάση του οξυγόνου στο αίμα, είναι το ερέθισμα που αυξάνει την παραγωγή της.

Η διαβίωση σε υψόμετρο συνεπάγεται, αύξηση της ερυθροποιητίνης, του αριθμού των ερυθρών αιμοσφαιρίων και της αιμοσφαιρίνης, ώστε, να διατηρηθεί η παροχή του οξυγόνου στους ιστούς, το οποίο όμως, παρέχεται σε μειωμένη ποσότητα λόγω της μειωμένης μερικής του τάσης στον ατμοσφαιρικό αέρα. Αυτό εκμεταλλεύονται οι αθλητές των αθλημάτων αντοχής, οι οποίοι, επιλέγουν, πριν από αγώνες, που θα γίνουν στο επίπεδο της θάλασσας, να διαβιούν σε υψόμετρο, και να αθλούνται σε χαμηλότερο επίπεδο (Live high – Train low, ακρωνύμιο : HiLo). Με την μέθοδο αυτή, εξασφαλίζουν την αυξημένη παροχή οξυγόνου στους μύες τους κατά τον αγώνα, και την βελτίωση των επιδόσεών τους, εκμεταλλευόμενοι την αύξηση του όγκου των ερυθρών και της αιμοσφαιρίνης. Έχει διαπιστωθεί, ότι μετά από παραμονή των αθλητών για τέσσερις εβδομάδες, σε υψόμετρο 2500 m, η ερυθροποιητίνη αυξάνεται κατά 150% και ο όγκος των ερυθρών αιμοσφαιρίων, εκφραζόμενος σαν όγκος του αίματος, κατά 1,5 έως 2 κ. εκ. / κιλό σωματικού βάρους, σε σύγκριση με τις τιμές τους, στο επίπεδο της θάλασσας [22]. Αυτές όμως είναι μέσες τιμές διότι, υπήρξαν αθλητές στους οποίους η ερυθροποιητίνη αυξήθηκε ελάχιστα ή



καθόλου. Σε αυτούς, η αιμοσφαιρίνη, και η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου δεν αυξήθηκαν και, βεβαίως οι επιδόσεις τους μετά την επιστροφή από το υψόμετρο παρέμειναν οι ίδιες [23].

Φαίνεται λοιπόν ότι ενδέχεται να υπάρχει ένας ουδός υψομέτρου για την αύξηση της ερυθροποιητίνης και είναι πιθανό όσο μεγαλύτερο το υψόμετρο, τόσο μεγαλύτερη και η αύξηση της ερυθροποιητίνης. Πράγματι, σε μία μελέτη στην οποία, τέσσερις ομάδες αθλητών υποβλήθηκαν σε 24ωρη παραμονή μέσα σε θάλαμο υποπίεσης που εμιμούντο την μερική τάση του οξυγόνου σε τέσσερα διαφορετικά υψόμετρα, 1780, 2085, 2454 και 2800 m, διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της ερυθροποιητίνης στα δύο μεγαλύτερα «υψόμετρα» ήταν τρεις φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με το επίπεδο της θάλασσας. Η ερυθροποιητίνη αυξήθηκε ναί μεν και στους αθλητές των ομάδων των 1780 και 2085m σε βαθμό σημαντικό, αλλά συγκριτικά, η αύξηση ήταν πολύ μικρότερη από ό,τι στις ομάδες των δύο μεγαλύτερων υψομέτρων [24]. Συνεπάγεται όμως, η αύξηση της ερυθροποιητίνης υποχρεωτικά, αύξηση και της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου και βελτίωση στην απόδοση του αθλητή όταν επιστρέψει στο επίπεδο της θάλασσας ;

Ενδιαφέρον, προκειμένου να απαντηθεί το παραπάνω ερώτημα είναι και το πείραμα που πραγματοποίησαν οι Chapman και συνεργάτες, δίνοντας απάντηση και σε πληθώρα άλλων ερωτημάτων, πρακτικής φύσεως. Υπέβαλαν λοιπόν, μία ομάδα από 48 δρομείς μεγάλων αποστάσεων σε άσκηση για τέσσερις εβδομάδες στο επίπεδο της θάλασσας. Εν συνεχεία, τους κατένειμαν σε τέσσερις ομάδες, η κάθε μία από τις οποίες διαβίωνε σε διαφορετικό υψόμετρο, 1780 m, 2085 m, 2454m και 2800 m. Όλοι οι αθλητές ασκούσαν μαζί σε διάφορα υψόμετρα, μεταξύ 1250 m και 3000 m. Αιματολογικός και μεταβολικός έλεγχος έγινε πριν την αναχώρησή τους από το επίπεδο της θάλασσας και αμέσως μετά την επιστροφή σε αυτό, ενώ η ερυθροποιητίνη μετρήθηκε αρκετές φορές και κατά την παραμονή τους στο υψόμετρο [22]. Η απόδοση των αθλητών δρόμου πριν, αμέσως μετά την επιστροφή από το υψόμετρο, καθώς, και δύο εβδομάδες μετά, εκτιμήθηκε, με τον χρόνο, που χρειαζόντουσαν για να διανύσουν δρόμο 3000 m. Η απόδοση των δρομέων, αμέσως μετά την επιστροφή από το υψόμετρο, αλλά, και δύο εβδομάδες μετά, ήταν σημαντικά βελτιωμένα κατά 2 – 3%, μόνο σε αυτούς που έμεναν στα δύο ενδιάμεσα υψόμετρα, των 2085 m και 2454 m. Στα δύο ακραία υψόμετρα των

1780 m και 2800 m δεν σημειώθηκε στατιστικά σημαντική μεταβολή. Ενδέχεται, η απουσία βελτίωσης στην ομάδα των 2800m να οφείλεται στην «νόσο του υψομέτρου» και την υπνική άπνοια που και οι δύο αρχίζουν να εμφανίζονται σε υψόμετρα περί τα 2800m και πάνω [25]. Ο μειωμένος οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός στον ύπνο συνηγορεί σε αυτή την ερμηνεία. Πράγματι, ο οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός, κατά την διάρκεια του ύπνου, κατά την διαβίωση στα προαναφερθέντα υψόμετρα, κυμαινόταν περί το 0,96 και 0,97 για τις ομάδες των δύο χαμηλότερων υψομέτρων και περί το 0,94 με 0,95 για τα δύο υψηλότερα, με τις διαφορές να είναι στατιστικά σημαντικές.

Η μέγιστη καρδιακή συχνότητα και ο μέγιστος αερισμός πριν και μετά την παραμονή στα παραπάνω υψόμετρα ήταν χωρίς μεταβολή και για τις τέσσερις ομάδες, ενώ η μέγιστη κατανάλωση οξυγόνου αυξήθηκε σε στατιστικά σημαντικό βαθμό στις ομάδες που διαβίωσαν στα τρία μεγαλύτερα υψόμετρα, των 2085 m, 2454m και 2800 m. Στην ομάδα που έμενε στο υψόμετρο των 1780m δεν καταγράφηκε στατιστικά σημαντική μεταβολή [22].

Όσον αφορά την υπομέγιστη άσκηση, η μεν κατανάλωση του οξυγόνου ήταν η ίδια, πριν και αμέσως μετά την επιστροφή από το υψόμετρο και στις τέσσερις ομάδες. Ο αερισμός όμως ήταν χαμηλότερος κατά 3 – 4%, για τις ομάδες των 1780m και 2085m αλλά μεγαλύτερος κατά 2% περίπου, στην ομάδα των 2454 m. Μεταβολές προς τις ίδιες κατευθύνσεις παρουσίασε και η καρδιακή συχνότητα στην υπομέγιστη κόπωση, η οποία, μειώθηκε στις δύο ομάδες των χαμηλότερων υψομέτρων, ενώ αυξήθηκε στις δύο άλλες. Οι συγγραφείς, αποδίδουν αυτά τα αποτελέσματα στην επικράτηση των συνεπειών του εγκλιματισμού στις ομάδες των δύο μεγαλύτερων υψομέτρων, ενώ στις δύο ομάδες των χαμηλότερων υψομέτρων επικράτησε η ενίσχυση του αερόβιου στοιχείου του μεταβολισμού [22]. Ο αυξημένος αερισμός στις δύο τελευταίες ομάδες στην άθληση στο επίπεδο της θάλασσας, απαιτεί επιπρόσθετη κατανάλωση ενέργειας από τους αναπνευστικούς μύες, η οποία αποστρείται από τους μύες των κάτω άκρων με συνέπεια την μείωση στην απόδοση του αθλητή. Δύο εβδομάδες μετά, καταγράφηκε μικρότερη καρδιακή συχνότητα στην υπομέγιστη κόπωση και στην ομάδα των 2454 m.

Όσον αφορά την ερυθροποιητίνη, αυτή αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά και στις τέσσερις ομάδες, μέσα σε 24 ώρες από την άφιξη των αθλητών στα υψόμετρα. Η αύξηση, ήταν περί το 100 έως 150% για τις ομάδες των δύο

χαμηλότερων υψομέτρων και περί το 200%, για τα δύο μεγαλύτερα υψόμετρα. Τα επίπεδα της ερυθροποιητίνης παρέμειναν αυξημένα και τις 48 ώρες και στις τέσσερις ομάδες. Στις 72 ώρες όμως, εξακολουθούσαν να είναι αυξημένα μόνο στην ομάδα που διαβιούσε στο μέγιστο υψόμετρο των 2800m.

Η ερυθροποιητίνη συνέχιζε να μειώνεται και από το τέλος της πρώτης εβδομάδας μέχρι το πέρας της παραμονής στο υψόμετρο. Στο τέλος της τρίτης εβδομάδας τα επίπεδά της ερυθροποιητίνης ήταν τα ίδια με εκείνα πριν την αναχώρηση από το επίπεδο της θάλασσας. Ωστόσο, καταγράφηκε μεγάλη μεταβλητότητα μεταξύ των αθλητών της ίδιας ομάδας στην αύξηση της ερυθροποιητίνης και αυτό αφορούσε και τις τέσσερις ομάδες [22]. Η επάνοδος των επιπέδων της ερυθροποιητίνης στα επίπεδα που ήταν πριν την αναχώρηση για το υψόμετρο, στο τέλος της πρώτης εβδομάδας, υποδηλώνει ότι προφανώς ο όγκος του αίματος και η αιμοσφαιρίνη έφθασαν στο μέγιστο, στο τέλος της πρώτης εβδομάδας. Οι σχετικές όμως μετρήσεις δεν πραγματοποιήθηκαν κατά την παραμονή των αθλητών στα υψόμετρα. Αυτές οι μετρήσεις έγιναν, αμέσως μετά την επιστροφή τους στο επίπεδο της θάλασσας, καθώς, και δύο εβδομάδες μετά. Αμέσως, λοιπόν μετά την επιστροφή τους, ο όγκος των ερυθρών αιμοσφαιρίων ήταν αυξημένος κατά 6 έως 7%, και στις τέσσερις ομάδες. Αύξηση η οποία κρίνεται στατιστικά σημαντική. Δύο εβδομάδες μετά, σε όλες τις ομάδες είχαν σχεδόν επανέλθει στα αρχικά επίπεδα.

Τα στοιχεία αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι παραμονή για τρεις εβδομάδες σε οποιοδήποτε υψόμετρο, από 1780 m μέχρι 2800 m, έχει το ίδιο αποτέλεσμα στην αύξηση της ερυθροποιητίνης και στον όγκο των ερυθρών αιμοσφαιρίων. Επειδή όμως η απόδοση των αθλητών μετά την επιστροφή τους ήταν διαφορετική σε κάθε ομάδα, όπως και ο πνευμονικός αερισμός και η καρδιακή συχνότητα στην υπομέγιστη κόπωση, φαίνεται, ότι :

- 1) Η παραμονή σε ενδιάμεσα υψόμετρα των 2085 m και 2450 m, είναι η πλέον επωφελής για την απόδοση των αθλητών.
- 2) Τα όποια ευνοϊκά αποτελέσματα στην απόδοση των αθλητών, διαρκούν, μέχρι δύο περίπου εβδομάδες, μετά την επιστροφή στο επίπεδο της θάλασσας
- 3) Η αύξηση της ερυθροποιητίνης ενδέχεται να βελτιώνει και από μόνη της την απόδοση, ίσως, μέσω ευνοϊκής δράσης στην λειτουργία του ενδοθηλίου.

4) Η απόδοση των αθλητών μετά την επιστροφή στο επίπεδο της θάλασσας δεν εξαρτάται μόνο από την αύξηση της αιμοσφαιρίνης [22].

Η αύξηση της αιμοσφαιρίνης είναι σε γραμμική συσχέτιση με την αύξηση της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, αλλά το  $r^2$ , είναι μόλις, 0,15, δηλαδή μόλις το 15% των μετρήσεων βρίσκονται κοντά στη γραμμή συσχέτισης. Αυτό υπονοεί ότι και άλλοι παράγοντες πέρα από την αύξηση της αιμοσφαιρίνης, συμμετέχουν στην αύξηση της  $Vo_{2max}$  κατά την άσκηση σε υψόμετρο. Μεταξύ αυτών είναι μεταβολές σε κυτταρικό επίπεδο που αφορούν την έξοδο ιόντων υδρογόνου, διττανθρακικών και γαλακτικού οξέος, από τους μύες προς το αίμα, καθώς και αλλαγές στα μιτοχόνδρια των μυών, στην σύνθεση και την αποδόμηση των μυϊκών πρωτεϊνών και στον τύπο των μυϊκών κυττάρων [26, 27, 28].

Οι σκελετικοί μύες αποτελούνται από μυϊκές ίνες δύο ειδών:

- Μυϊκές ίνες βραδείας σύσπασης, FI (slow twitch fibers, type I)
- Μυϊκές ίνες ταχείας σύσπασης FII (fast twitch fibers, type II).

Οι μυϊκές ίνες ταχείας σύσπασης FII, υποδιαιρούνται περαιτέρω στα FIIa και FIIb.

Οι μυϊκές ίνες βραδείας σύσπασης χρησιμοποιούν την αερόβια οδό του μεταβολισμού για την παραγωγή ενέργειας που απαιτείται για την σύσπαση. Ενώ οι μυϊκές ίνες ταχείας σύσπασης χρησιμοποιούν την αναερόβια οδό. Τα IIa, χρησιμοποιούν κατά 50% την αναερόβια οδό και κατά 50% την αερόβια. Για τον λόγο αυτό, ονομάζονται και ενδιάμεσου τύπου μυϊκές ίνες ταχείας σύσπασης ( intermediate type fast twitch fibers IIa ). Τα IIb, χρησιμοποιούν αποκλειστικά την αναερόβιο οδό. Οι μυϊκές ίνες είναι κατά το ήμισυ FI, και κατά το άλλο ήμισυ FII. Και οι δύο τύποι μυϊκών ινών παράγουν την ίδια δύναμη κατά την σύσπασή τους αλλά οι μυϊκές ίνες βραδείας σύσπασης FI, συσπώνται πιο αργά και παρατεταμένα, ενώ οι ταχείας σύσπασης FII, με μεγαλύτερη ταχύτητα και μικρότερη διάρκεια. Συνέπεια των παραπάνω διαφορών είναι, μυϊκές ίνες ταχείας σύσπασης FII, να υφίστανται κάματο γρηγορότερα από της βραδείας, FI. Κατά συνέπεια τα FI, βοηθούν στις επιδόσεις των αθλητών στα αγωνίσματα αντοχής ενώ τα FII, στις επιδόσεις των αθλητών σε αγωνίσματα ταχύτητας (sprint) [29].

Έχει διαπιστωθεί από μία κλασσική μελέτη των Gollnick και συνεργατών ότι οι αθλητές έχουν περισσότερες μυϊκές ίνες βραδείας σύσπασης από ό,τι έχουν

όμοιοι συνομήλικοί τους μη αθλητές [30]. Τα ευρήματα όμως αυτά δεν τεκμηριώνουν και την δυνατότητα αλλαγής του φαινοτύπου των μυϊκών ινών λόγω της άσκησης. Μελέτες που έχουν προσπαθήσει να δώσουν απάντηση σε αυτό το ερώτημα εξετάζοντας αθλητές πριν και μετά την έναρξη της αθλητικής ζωής, έχουν δώσει αντικρουόμενα αποτελέσματα. Υπάρχει και η άποψη ότι στους αθλούμενους μπορεί να γίνει αλλαγή του φαινοτύπου των μυϊκών ινών, από IIb σε IIa [29].

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει και μία μελέτη που έγινε σε 7 ορειβάτες πριν και αμέσως μετά από προσπάθεια ανάβασης σε μία κορυφή των Ιμαλαίων [31]. Η ανάβαση ξεκίνησε από το Κατμαντού και διήρκεσε 43 ημέρες. Από αυτές τις ημέρες, τις 23 οι ορειβάτες βρίσκονταν σε υψόμετρο πάνω από 500m και συγκεκριμένα στα 5900m και 6400 m. Επειδή όμως οι καιρικές συνθήκες επιδεινώθηκαν, η ανάβαση δεν ολοκληρώθηκε και οι ορειβάτες μετά από πορεία 7 ημερών επέστρεψαν στο Κατμαντού έχοντας πεζοπορήσει για περίπου 450km. Στις εξετάσεις που έγιναν στους ορειβάτες πριν και μετά την ορειβασία, περιλαμβάνονταν και βιοψία από τον τετρακέφαλο μυ. Διαπιστώθηκε λοιπόν ότι, μετά την ορειβασία παρατηρήθηκε αύξηση των μυϊκών ινών βραδείας σύσπασης και μείωση των μυϊκών ινών ταχείας σύσπασης. Οι συγγραφείς, αποδίδουν αυτή την μεταβολή σε προσαρμογή σε συνθήκες μειωμένης περιεκτικότητας σε οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα στα υψόμετρα αυτά [31]. Δηλαδή, η μειωμένη παροχή οξυγόνου προκαλεί περαιτέρω ενεργοποίηση των οξειδωτικών ενζύμων επειδή, οι μυϊκές ίνες βραδείας σύσπασης χρησιμοποιούν τον αερόβιο μεταβολισμό ενώ, οι ταχείας σύσπασης τον αναερόβιο. Δεν μπορεί όμως να αποκλεισθεί και η συμμετοχή της κοπιώδους και παρατεταμένης αυτής άσκησης στην μεταβολή αυτή.

Τα ευρήματα αυτής της μελέτης είναι σε αντίθεση με παλαιότερες γνώσεις, σύμφωνα με τις οποίες, σε υψόμετρα πάνω από 6000 m, παρατηρείται μείωση της ενεργότητας των οξειδωτικών ενζύμων, υπεροχή της αναερόβιας οδού και ιστολογικές αλλοιώσεις γήρανσης στους μύες, με ατροφία των μυϊκών ινών και μείωση του όγκου των μιτοχονδρίων λόγω μείωσης της σύνθεσης πρωτεϊνών για εξοικονόμηση του «σε ανεπάρκεια», οξυγόνου [32].

Φαίνεται όμως, ότι τα ευρήματα των παλαιότερων μελετών για αρνητική επίδραση στην δομή και λειτουργία των μυών της μακροχρόνιας παραμονής σε

μεγάλα υψόμετρα, οφείλονται στο αρνητικό ενεργειακό ισοζύγιο με μείωση του σωματικού βάρους.

Πράγματι, σε μία ομάδα 9 αθλητών έγιναν οι σχετικές μετρήσεις στο επίπεδο της θάλασσας καθώς και μετά από 7-9 ημέρες παραμονής σε υψόμετρο 4559 m, κάτω από συνθήκες ελεγχόμενης λήψης τροφής. Διαπιστώθηκε λοιπόν ότι, ο ρυθμός σύνθεσης των πρωτεϊνών των μυοϊνιδίων διπλασιάσθηκε ενώ στις πρωτεΐνες του σαρκοπλάσματος παρέμεινε αναλλοίωτος [27].

Σε συμφωνία με την παραπάνω μελέτη βρίσκεται και η μελέτη που έγινε από τον Jacobs και συνεργάτες. Σε αυτήν, παραμονή μιας ομάδας αθλητών για 28 ημέρες σε υψόμετρο 3454m προκάλεσε αύξηση του όγκου των μιτοχονδρίων. Στους αθλητές όμως αυτούς παρέμειναν αναλλοίωτα, το βάρος και η σύσταση του σώματος καθώς και η μυϊκή μάζα [33].

Φαίνεται λοιπόν ότι η παραμονή σε μεγάλο υψόμετρο μπορεί να έχει ευνοϊκή επίδραση στους μύες υπό μία προϋπόθεση :

Ο αθλητής, να μην ευρίσκεται σε αρνητικό ενεργειακό ισοζύγιο.

Συμπερασματικά, η απόδοση των αθλητών σε υψόμετρο μετά από εγκλιματισμό σε αυτό, είναι η συνισταμένη πολλών μεταβολών.

Κομβικός παράγοντας που πυροδοτεί αυτές τις μεταβολές, είναι η μείωση της μερικής τάσης του οξυγόνου στο αίμα. Επακόλουθο αυτής, είναι η αύξηση της ερυθροποιητίνης και η αύξηση της αιμοσφαιρίνης ώστε να αντιρροπηθεί η μείωση του οξυγόνου που προσφέρεται στους μύες. Η ερυθροποιητίνη στο τέλος της πρώτης εβδομάδας έχει επανέλθει στα αρχικά επίπεδα, διότι προφανώς η αύξηση της αιμοσφαιρίνης έχει ολοκληρωθεί. Αυτό σηματοδοτεί και το ελάχιστο της παραμονής σε υψόμετρο που είναι η μία εβδομάδα. Σημαντικός παράγοντας είναι και οι μεταβολές, που παρατηρούνται στο μυϊκό επίπεδο (αύξηση σύνθεσης μυοϊνιδικών πρωτεϊνών, αύξηση όγκου μιτοχονδρίων).

Οι μεταβολές αυτές διατηρούνται για δύο εβδομάδες μετά την επιστροφή στο επίπεδο της θάλασσας, επηρεάζοντας θετικά την απόδοση των αθλητών σε δρόμους αντοχής. Φαίνεται επίσης ότι το ιδανικό εύρος υψομέτρων για την βελτιστοποίηση των παραπάνω, είναι η διαβίωση μεταξύ 2085m και 2450 m.



*Εικόνα 3 Ορειβάτες κατά την διάρκεια ανάβασης στο Έβερεστ.*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΑΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ

#### 2.1 Υποξία υψομέτρου

Η συγκέντρωση του οξυγόνου στην ατμόσφαιρα, ανεξάρτητα από το υψόμετρο παραμένει σταθερή στο 20,9% όπως είναι στην επιφάνεια της θάλασσας. Η μερική όμως πίεση του οξυγόνου ελαττώνεται με την άνοδο σε υψόμετρο σαν αποτέλεσμα της μείωσης της βαρομετρικής πίεσης. Ενώ λοιπόν, η μερική πίεση του οξυγόνου στο επίπεδο της θάλασσας είναι 159 mm Hg, στην κορυφή του όρους Έβερεστ είναι μόλις 53 mm Hg [34]. Η μείωση αυτή πυροδοτεί την ενεργοποίηση σειράς αντιρροπιστικών μηχανισμών των οποίων η έντασή τους είναι ευθέως ανάλογη προς το υψόμετρο και την ταχύτητα ανόδου σε αυτό. Με βάση τα παραπάνω, ταξινομούνται τέσσερα επίπεδα υψομέτρων :

1. Μέτριο υψόμετρο-moderate altitude (1500 m – 2500 m)

2. Μεγάλο υψόμετρο-high altitude (2500 m – 3500 m)

3. Πολύ μεγάλο υψόμετρο-very high altitude (3500 m – 5800 m).

4. Ακραίο υψόμετρο-extremely high altitude (>5800 m)[35].

Οι αντιρροπιστικοί μηχανισμοί που ενεργοποιούνται αφορούν, το καρδιαγγειακό σύστημα, το αναπνευστικό και το αιμοποιητικό, με σκοπό να περιορίσουν κατά το δυνατό περισσότερο την μείωση της παροχής οξυγόνου στους ιστούς.

**Αναπνευστικό σύστημα :** Η μειωμένη μερική πίεση του οξυγόνου, που επικρατεί στην ατμόσφαιρα συνεπάγεται και μείωση της μερικής του πίεσης και στο αίμα (υποξαιμία). Η υποξαιμία, διεγείρει χημειουποδοχείς που βρίσκονται στον διχασμό των καρωτίδων, με αποτέλεσμα, την αύξηση της καρδιακής συχνότητας και του αναπνεόμενου όγκου αέρος (tidal volume). Συνέπεια των παραπάνω, είναι η αύξηση του κυψελιδικού αερισμού στην ηρεμία μέχρι και πέντε φορές. Ο κυψελιδικός αερισμός ηρεμίας δεν παραμένει αυξημένος καθόλη την παραμονή στο υψόμετρο αλλά επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα μετά από αρκετές ημέρες[35,36].

**Καρδιαγγειακό σύστημα :** Η καρδιακή συχνότητα αυξάνεται τάχιστα μέσα σε



δευτερόλεπτα, από την άφιξη στο υψόμετρο χωρίς να μεταβάλλεται ο όγκος παλμού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της καρδιακής παροχής. Η αυξημένη καρδιακή παροχή διατηρείται για μερικές μόνο ημέρες και κατόπιν μειώνεται διότι ναι μεν η καρδιακή συχνότητα παραμένει αυξημένη αλλά ο όγκος παλμού μειώνεται. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται σε διέγερση του συμπαθητικού και μερική αναστολή του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος[35,37].

**Αιμοποιητικό σύστημα :** Ο αιματοκρίτης, ανέρχεται μέσα σε ώρες, από την άφιξη στο υψόμετρο, λόγω αφυδάτωσης που προέρχεται από την ταχύπνοια αλλά και την αυξημένη διούρηση. Η υποξαιμία, διεγείρει τους νεφρούς στην παραγωγή ερυθροποιητίνης. Η αυξημένη παραγωγή της ορμόνης αυτής αρχίζει μέσα σε 24 έως 48 ώρες και μία εβδομάδα μετά οι τιμές της στο αίμα, έχουν επανέλθει στα αρχικά επίπεδα χωρίς ο άνθρωπος να έχει επιστρέψει στο επίπεδο της θάλασσας. Η πραγματική όμως αύξηση της αιμοσφαιρίνης εμφανίζεται μετά από 3 έως 4 εβδομάδες[35,38].

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, όταν κάποιος θελήσει να ανέβει σε υψόμετρο πάνω από 3000 m, αυτό πρέπει να το κάνει σταδιακά έτσι ώστε, να δοθεί ο χρόνος στον οργανισμό του να εγκλιματισθεί. Συνιστάται λοιπόν, να ανέρχεται 300 έως 500m κάθε ημέρα και κάθε 3 έως 4 ημέρες να διακόπτει την ανάβαση για μία ημέρα[35].

## **2.2 Οξεία νόσος του υψομέτρου**

Σαν οξεία νόσος του υψομέτρου περιγράφεται μια σειρά από συμπτώματα από το στομάχι, τους πνεύμονες και τον εγκέφαλο που εμφανίζονται σε μη εγκλιματισμένα άτομα μετά από γρήγορη ανάβαση σε μεγάλο υψόμετρο. Η εκδήλωση της νόσου εξαρτάται :

- 1)από το ρυθμό ανόδου,
- 2)το υψόμετρο
- 3)τη φυσική κατάσταση του αθλητή.

Τα συμπτώματα αυτά, μπορεί να εμφανισθούν μέσα σε λίγες ώρες, μέχρι πέντε ημέρες μετά από την άφιξη σε υψόμετρο που στην συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι πάνω από 2500 m. Σπάνια μπορεί τα συμπτώματα να

εμφανισθούν και σε υψόμετρα κάτω των 2500 m, κυρίως σε άτομα πολύ νέα ή ηλικιωμένα ή άτομα, που πάσχουν από καρδιακά ή αναπνευστικά προβλήματα. Η οξεία νόσος του υψομέτρου κατά κανόνα είναι μία αθώα νόσος. Μπορεί όμως, να εξελιχθεί, σπάνια βέβαια, σε βαρεία, ακόμη και θανατηφόρο κατάσταση.

Διακρίνονται τρεις μορφές αυτής της νόσου :

**1)Οξεία ασθένεια του βουνού (Acute Mountain Sickness).**

Χαρακτηρίζεται από πονοκέφαλο, αδυναμία, ζάλη και ναυτία και είναι η πιο ελαφρά μορφή.

**2)Εγκεφαλικό οίδημα από το υψόμετρο (High-Altitude Cerebral Oedema).**

Χαρακτηρίζεται από αταξία, δηλαδή δυσχέρεια στον συντονισμό των κινήσεων, μείωση του επιπέδου της συνείδησης. Η μορφή αυτή αν δεν αντιμετωπισθεί άμεσα μπορεί να οδηγήσει στον θάνατο.

**3)Πνευμονικό οίδημα από το υψόμετρο (High Altitude Pulmonary Oedema).**

Οφείλεται στην σύσπαση των πνευμονικών φλεβών και χαρακτηρίζεται από δύσπνοια κυμαινόμενης βαρύτητας. Η μορφή αυτή μπορεί να καταλήξει στον θάνατο αν δεν αντιμετωπισθεί άμεσα[39].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Η ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΚΟΠΩΣΗΣ

Η εργοσπιρομετρία ή πιο σωστά καρδιαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης (ΚΑΔΚ), είναι μία αναίμακτη εξέταση με την οποία μπορεί να εκτιμηθούν οι εφεδρείες του καρδιακού και του αναπνευστικού συστήματος. Βασικές συνιστώσες αυτής της εξέτασης, είναι η προοδευτικά αυξανόμενη άσκηση σε κυλίομενο τάπητα ή κυκλοεργόμετρο(ποδήλατο) ακολουθώντας διάφορα πρωτόκολλα με ταυτόχρονη ανάλυση του εκπνεόμενου αέρα.

Ο ανθρώπινος οργανισμός όταν ασκείται χρησιμοποιεί οξυγόνο για την παραγωγή ενέργειας ενώ εκλύεται διοξείδιο του άνθρακα. Η πρόσληψη του οξυγόνου και η αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα γίνεται διαμέσου της τριχοειδοκυψελιδικής μεμβράνης στον πνεύμονα. Η μεταφορά των δύο αερίων από και προς τον πνεύμονα γίνεται με σύνδεσή τους με την αιμοσφαιρίνη. Η κατανάλωση οξυγόνου, ισούται με την διαφορά σε περιεκτικότητα του αερίου αυτού, ανάμεσα στον εκπνεόμενο και εισπνεόμενο αέρα. Το ίδιο αφορά και το διοξείδιο του άνθρακα, που παράγεται.

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης οξυγόνου, εφαρμόζεται η παρακάτω εξίσωση :

$VO_2 = [1 - FeO_2 - FeCO_2] / 0,7904 \times (FiO_2 - FeO_2) \times VE$ , όπου,  $VO_2$  ο όγκος του οξυγόνου που καταναλίσκεται,  $FeO_2$  και  $FeCO_2$ , η % περιεκτικότητα του εκπνεόμενου αέρα σε οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα αντίστοιχα,  $FiO_2$  και  $FeO_2$ , η % περιεκτικότητα σε οξυγόνο του εισπνεόμενου και εκπνεόμενου αέρα αντίστοιχα. Ο συντελεστής 0,7904, είναι η περιεκτικότητα του εισπνεόμενου αέρα σε άζωτο.

Η δοκιμασία της κόπωσης γίνεται με συνεχή λήψη ηλεκτροκαρδιογραφήματος και παρακολούθηση της αρτηριακής πίεσης[40].

Κατά την ΚΑΔΚ μπορεί να μετρηθούν πολλές παράμετροι, μεταξύ των οποίων, σημαντικότερες είναι οι παρακάτω :

- **Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου( $VO_2 \max$  και  $VO_2peak$ ).**

Η πρώτη ορίζεται σαν η τιμή της  $VO_2$  που δεν αυξάνεται άλλο παρά την συνεχιζόμενη αύξηση της έντασης της κόπωσης, μέχρι να επιτευχθεί ο

στόχος της καρδιακής συχνότητας (220-έτη ηλικίας). Σαν  $VO_2$  peak, ορίζεται, η τιμή της  $VO_2$ , την στιγμή που ο ασκούμενος διακόπτει την δοκιμασία λόγω κόπωσης, πριν να φθάσει τον στόχο της καρδιακής συχνότητας. Η μέγιστη πρόσληψη του οξυγόνου εξαρτάται από την ηλικία, το φύλο, την μυϊκή μάζα, την σωματική άσκηση και την κατάσταση της υγείας. Αυξάνει μέχρι την ηλικία των 20 ετών. Μετά την ηλικία αυτή μειώνεται κατά 10% για κάθε δεκαετία[41].

- **Πηλίκιο ανταλλαγής αερίων**

Δηλαδή ο όγκος του παραγόμενου  $CO_2$  προς τον όγκο του  $O_2$  που καταναλίσκεται

**Αναερόβιος ουδός (Anaerobic Threshold-AT).**

Συνήθως συμβαίνει όταν το φορτίο της άσκησης φθάσει στο 60% της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου. Προσδιορίζεται με διάφορους τρόπους μεταξύ των οποίων είναι και το χρονικό σημείο όπου ο ρυθμός αύξησης του όγκου του  $CO_2$  στον εκπνεόμενο αέρα υπερβαίνει τον ρυθμό αύξησης του προσλαμβανόμενου οξυγόνου. Μια άλλη μέθοδος υπολογισμού του είναι η χρήση των αναπνευστικών ισοδυνάμων( $VE/VC$  και των τελοεκπνευστικών πιέσεων( $PET_{O_2}$  και  $PET_{CO_2}$ ) και συγκεκριμένα ως αναερόβιο κατώφλι ορίζεται το σημείο στο οποίο  $VE/VO_2$  και  $PET_{O_2}$  αυξάνουν, ενώ το  $VE/VCO_2$  και  $PET_{O_2}$  παραμένουν σταθερά [40].

- **Μέτρηση του γαλακτικού οξέος.**

Αυτή γίνεται με λήψη αίματος από το δάκτυλο και αποσκοπεί στον καθορισμό του γαλακτικού κατωφλίου που αντιστοιχεί με τον αναερόβιο ουδό[42]. Έχει περιγράψει και μία μέθοδος, όπου μετράτε το γαλακτικό οξύ στον σίελο του ασκούμενου. Η πυκνότητα στον σίελο είναι 15% της πυκνότητας στο αίμα αλλά η καμπύλη μεταβολής κατά την άσκηση είναι ακριβώς η ίδια[42]. Γαλακτικό κατώφλι είναι το χρονικό σημείο στο οποίο, η σχέση αύξησης του γαλακτικού στο αίμα και της κατανάλωσης οξυγόνου παύει να είναι γραμμική και γίνεται εκθετική διότι ο ρυθμός αύξησης του γαλακτικού υπερβαίνει τον ρυθμό αύξησης της κατανάλωσης του οξυγόνου.

Η ΚΑΔΚ, εφαρμόζεται στους αθλητές, για τους παρακάτω λόγους :

- 1.Έλεγχος της φυσικής κατάστασης
- 2.Έλεγχος της αποτελεσματικότητας της προπόνησης σε διαδοχικές μετρήσεις
- 3.Καθορισμός του είδους της άσκησης (αερόβια, αναερόβια)
- 4.Καθορισμός του προπονητικού προγράμματος και της βέλτιστης έντασης της άσκησης
- 5.Μέτρηση βασικού μεταβολισμού για τον μετέπειτα σχεδιασμό της διατροφής



Εικόνα 4 Καρδιαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης σε κυκλοεργόμετρο

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΟ**

#### **4.1 Σκοπός**

Ο σκοπός της μελέτης ήταν να εκτιμηθεί, κατά πόσο επηρεάζονται συγκεκριμένοι παράγοντες, που αφορούν το καρδιοαναπνευστικό, το αιμοποιητικό, και το μυϊκό σύστημα σε αθλητές αλπικού σκι μετά από διαμονή σε υψόμετρο 720m και προπόνηση στα 3250m για 10 ημέρες. Οι παράγοντες, που μελετήθηκαν, είναι :

- 1) Η καρδιακή συχνότητα σε ηρεμία, αμέσως μετά την πρωινή αφύπνιση και πριν την νυκτερινή κατάκλιση στον τόπο διαμονής στο υψόμετρο των 720 m.
- 2) Ο οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός στο υψόμετρο των 720 m αμέσως μετά την πρωινή αφύπνιση και στο υψόμετρο των 3250 m αμέσως μετά το τέλος της καθημερινής πρωινής προπόνησης.
- γ) Η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_{2max}$ ) και το μέγιστο έργο στο κυκλοεργόμετρο (max load).
- 3) Ο ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα το 1<sup>ο</sup> sec (FEV1).
- 4) Η τελοεκπνευστική μερική πίεση του  $CO_2$  (PETCO<sub>2</sub>) στο τελευταίο sec της ΚΑΔΚ
- 5) Η τελοεκπνευστική μερική πίεση του  $O_2$  (PETO<sub>2</sub>) στο τελευταίο sec της ΚΑΔΚ
- 6) Ο αιματοκρίτης.
- 7) Η δύναμη άνω και κάτω άκρων.

Οι παράμετροι 3, 4, 5, 6 και, 7 μετρήθηκαν πριν την αναχώρηση από τον Βόλο για τον τόπο προπόνησης κα+ αμέσως μετά την επιστροφή τους.

#### **4.2 Τόπος έρευνας**

Η μελέτη διενεργήθηκε το καλοκαίρι του 2016 και οι μετρήσεις έγιναν αμέσως πριν, κατά, και μετά την περίοδο προετοιμασίας της ομάδας αλπικού σκι του ΕΟΣ( Ελληνικός Ορειβατικός Σύλλογος) Βόλου στον παγετώνα Hintertux στις Αυστριακές Άλπεις σε υψόμετρο 3250 m. Στον παγετώνα αυτόν προπονείται η

ομάδα του ΕΟΣ Βόλου 3 – 4 φορές τον χρόνο κατά την περίοδο προετοιμασίας της στο χιόνι, από τον Ιούνιο μέχρι τον Νοέμβριο. Η διαμονή των αθλητών είναι σε υψόμετρο 720 m για 10 ημέρες και νύχτες. Η προετοιμασία γίνεται σε υψόμετρο 3250 m και αφορά καθημερινή προπόνηση καταβάσεων αλπικού σκι από τις 8:30 το πρωί έως τις 12:00 το μεσημέρι στα αγωνίσματα της γιγαντιαίας τεχνικής και της τεχνικής κατάβασης, τα οποία είναι τα συνηθέστερα στην Ελλάδα

Οι μετρήσεις που έγιναν κατά την διάρκεια της δεκαήμερης παραμονής της ομάδας του ΕΟΣ Βόλου στον παγετώνα του Hintertux πραγματοποιήθηκαν όπως προαναφέρθηκε:

- στις 7:00 αμέσως μετά το πρωινό ξύπνημα στο υψόμετρο των 720 m,
- στις 12:00 αμέσως μετά την 4ωρη προπόνηση καταβάσεων, σε υψόμετρο 3250 m,
- στις 21:00 ακριβώς πριν την νυχτερινή κατάκλιση στο υψόμετρο των 720 m.

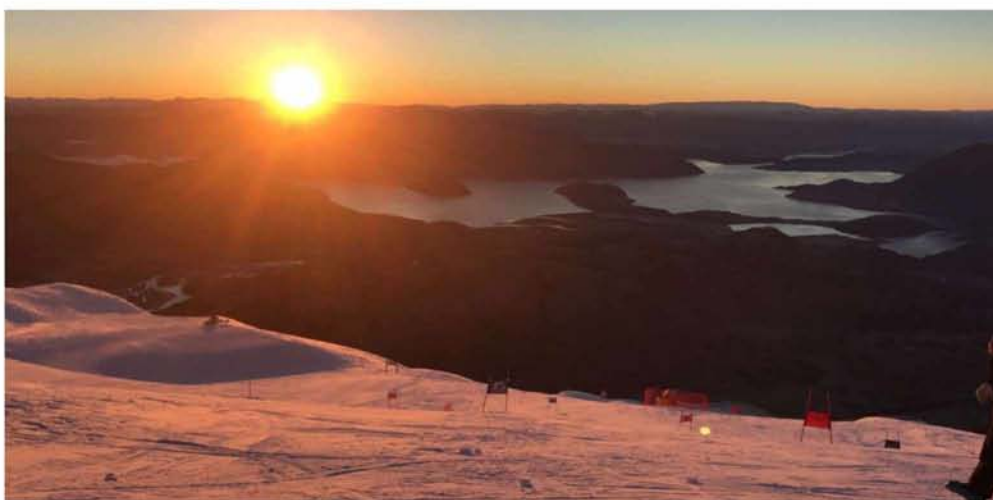
Οι μετρήσεις πριν και μετά την προετοιμασία στον παγετώνα του Hintertux έγιναν στο Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Λάρισας, στο Εργοσπιρομετρικό Εργαστήριο της Πανεπιστημιακής Πνευμονολογικής Κλινικής. Στο ίδιο εργαστήριο, έγιναν οι μετρήσεις του ταχέως εκπνεόμενου όγκου αέρα το 1<sup>ο</sup> sec (FEV1) και η μέγιστη καρδιαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης (ΚΑΔΚ) από την οποία προκύπτουν ο δείκτης της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου (Vo2max) και (max load).

Το υψόμετρο της πόλης της Λάρισας, είναι 67 m και επομένως θεωρείται ότι κατά προσέγγιση το εργαστήριο βρίσκεται στο επίπεδο της θάλασσας. Οι δέκα συνολικά τον αριθμό αθλητές, υποβλήθηκαν στην δοκιμασία κόπωσης, πριν την αναχώρηση για το Hintertux και αμέσως μετά την επιστροφή τους.

Ακολούθησαν όλοι το ίδιο πρωτόκολλο και στις 2 μετρήσεις που έκαναν, προσαρμοσμένο στην εκάστοτε φυσική κατάστασή τους, στην ηλικία και το βάρος τους, ούτως ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους.

Η περίοδος προετοιμασίας που έγιναν οι συγκεκριμένες μετρήσεις ήταν ο μήνας Ιούλιος. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τον μήνα Ιούλιο στον παγετώνα του Hintertux υπάρχει χιονοκάλυψη και οι συνθήκες προπόνησης μοιάζουν με τις ανοιξιάτικες των χιονοδρομικών κέντρων της Ελλάδας. Αυτό

σημαίνει, ότι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κυμαίνεται μεταξύ  $-1$  και  $+4$  βαθμών Κελσίου, ενώ το χιόνι είναι παγωμένο νωρίς το πρωί. Αργότερα, κατά την διάρκεια της ημέρας, υφίσταται υγροποίηση λόγω της ηλιοφάνειας και της ανόδου της θερμοκρασίας. Να σημειωθεί, ότι λόγω του μεγάλου υψομέτρου και της αντανάκλασης του ηλίου στο χιόνι, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη από ό,τι στο επίπεδο της θάλασσας. Για αυτόν τον λόγο υπάρχει σε κάποιο βαθμό και το στοιχείο της αφυδάτωσης στους αθλητές.



*Εικόνα 5 Προπονητικό περιβάλλον της ομάδας του ΕΟΣ Βόλου.*

#### **4.3 Υλικό έρευνας**

Οι αθλητές που συμμετείχαν στην έρευνα ήταν ανήλικοι και για τον λόγο αυτό η συμμετοχή τους εξασφαλίσθηκε μετά από την ενυπόγραφη συγκατάθεση των γονέων τους.

Είκοσι δύο ( $N=22$ ) αθλητές ηλικίας 11 έως 16 ετών μελετήθηκαν κατά την προπόνησή τους στο Hintertux αλλά, σε μόνο δέκα από αυτούς πραγματοποιήθηκε και ο προσδιορισμός της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου ( $VO_{2max}$ ), του ταχέως εκπνεόμενου όγκου αέρα το  $1^o$  sec (FEV1), της τελοεκπνευστικής μερικής πίεσης του  $CO_2$  (PETCO<sub>2</sub>) και του  $O_2$  στο τελευταίο sec της ΚΑΔΚ (PETO<sub>2</sub>), του αιματοκρίτη και της μυικής ισχύος άνω και κάτω άκρων, πριν και μετά την περίοδο της προπόνησης. Σωματομετρικά δεδομένα υπάρχουν μόνο για τους 10 αυτούς αθλητές (Πίνακας 1). Για τους



υπόλοιπους δώδεκα, δεν υπήρξε η γονική συγκατάθεση για αυτό το σκέλος της μελέτης και κατά συνέπεια δεν υπάρχουν και σωματομετρικά δεδομένα.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	Πριν	Μετά	% διαφορά	P value
ΣΩΜΑΤΙΚΟ ΒΑΡΟΣ(kg)	60,6	61,9	2,1	0,0000
ΣΩΜΑΤΙΚΟ ΥΨΟΣ(cm)	172,7	172,7	0%	

*Πίνακας 1 : Σωματομετρικά δεδομένα (N=10)*

## 4.4 Μέθοδος έρευνας

### 4.4.1 Καρδιακή συχνότητα ηρεμίας

Οι μετρήσεις της καρδιακής συχνότητας σε ηρεμία έγιναν με φορητό μηχάνημα μέτρησης καρδιακών παλμών από το δάχτυλο του χεριού (Master Screen CPX, VIASYS Health Care, Γερμανία). Οι αθλητές ακολουθούσαν σταθερό ημερήσιο πρόγραμμα και οι μετρήσεις των καρδιακών παλμών σε ηρεμία την πρώτη και την δέκατη ημέρα, έγιναν ακριβώς την ίδια ώρα και συγκεκριμένα, στις 07:00 στο υψόμετρο των 720 m και στις 21:00 πριν την νυκτερινή κατάκλιση, στο ίδιο υψόμετρο.

### 4.4.2 Οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός οξυγόνου

Για την καταγραφή του αρτηριακού κορεσμού σε οξυγόνο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος με παλμική οξυμετρία (Master Screen CPX, VIASYS Health Care, Γερμανία), με φορητό μηχάνημα μέτρησης από το δάχτυλο της εταιρίας Samsung. Καθημερινά πραγματοποιούνταν δύο μετρήσεις σε κάθε αθλητή. Η πρώτη στις 07:00 το πρωί σε υψόμετρο 720 m και, η δεύτερη στις 12:00 στα 3250 m αμέσως μετά το τέλος της τετράωρης καθημερινής προπόνησης καταβάσεων.

#### **4.4.3 Το πρωτόκολλο της Καρδιοαναπνευστικής Δοκιμασίας Κόπωσης (ΚΑΔΚ)**

##### **Σχεδιασμός καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας κόπωσης**

Η κάρδιο-αναπνευστική δοκιμασία κόπωσης (ΚΑΔΚ) έγινε σε ηλεκτρονικό κυκλοεργόμετρο τύπου Ergoselect 100 (Ergo Line, Γερμανία). Για τη καταγραφή των αναπνευστικών και καρδιακών παραμέτρων κατά τη διεξαγωγή της δοκιμασίας χρησιμοποιήθηκε σπιρόμετρο τύπου Master Screen CPX (VIASYS Health Care, Γερμανία). Η ΚΑΔΚ έγινε σε ηλεκτρονικό κυκλοεργόμετρο με τη μέθοδο της συνεχούς σταδιακής αύξησης της αντίστασης (ramp) για τον προσδιορισμό του έργου (Watt), του αναερόβιου αναπνευστικού κατωφλίου (AT) και της μέγιστης αερόβιας ικανότητας ( $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ).

##### **Στάδια καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας κόπωσης**

1<sup>ο</sup> στάδιο: Στο 1<sup>ο</sup> στάδιο ηρεμίας και διάρκειας 2min έγινε καταγραφή των παραμέτρων ελέγχου σε απόλυτη ηρεμία.

2<sup>ο</sup> στάδιο: Στο 2<sup>ο</sup> στάδιο διάρκειας 3min έγινε καταγραφή των παραμέτρων ελέγχου με τον εξεταζόμενο να ποδηλατεί χωρίς αντίσταση στις 60 στροφές/λεπτό με μια διακύμανση 55-65 στροφές/λεπτό. Η ένδειξη των στροφών ανά λεπτό εμφανίζονταν αυτόματα και σε πραγματικό χρόνο στην οθόνη του κυκλοεργόμετρου.

3<sup>ο</sup> στάδιο: Το 3<sup>ο</sup> στάδιο θα έχει μέγιστη διάρκεια 12min θα γίνεται καταγραφή των παραμέτρων ελέγχου με σταδιακά αυξανόμενη αντίσταση.

4<sup>ο</sup> στάδιο: Στο 4<sup>ο</sup> στάδιο διάρκειας 5 min ο εξεταζόμενος ποδηλατεί χωρίς αντίσταση ώστε να επανέλθει ο οργανισμός στην αρχική του κατάσταση.

**Επιβάρυνση:** ο ρυθμός αύξησης της αντίστασης υπολογίστηκε αυτόματα από το εργοσπιρόμετρο κατά Wasserman (1994) σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{VO}_2 (\text{L/min}) = \text{ύψος} \times (50.72 - (0.327 \times \text{ηλικία})) / 1000$$

##### **Συλλογή δεδομένων καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας κόπωσης**

##### **Παράμετροι αναπνευστικού ελέγχου**

Η καταγραφή των παραμέτρων ελέγχου γινόταν με τη μέθοδο breath-by-breath (Master Screen CPX, VIASYS Health Care, Γερμανία) από μάσκα προσώπου ανοικτού τύπου με τοποθετημένη στη βάση της μάσκας βαλβίδα με αισθητήρα

(Triple V). Οι παράμετροι που καταγράφηκαν ήταν οι ακόλουθοι: κατανάλωση οξυγόνου ( $\dot{V}O_2$  ml/min), προσδιορισμός παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα ( $\dot{V}CO_2$  ml/min), κατά λεπτό αερισμός ( $V_E$  L/min), τελοεκπνευστική πίεση διοξειδίου του άνθρακα ( $P_{ET}CO_2$  mmHg), τελοεκπνευστική πίεση οξυγόνου ( $P_{ET}O_2$  mmHg), αναπνευστική συχνότητα ( $f_R$ ), αναπνεύμενος όγκος αέρα ( $V_T$  L).

#### **Αρτηριακή πίεση**

Η αρτηριακή πίεση (συστολική και διαστολική) θα καταγράφεται κάθε 2 min και θα χρησιμοποιηθεί αναλογικό πιεσόμετρο με ενσωματωμένο ακουστικό (MAC, Ιαπωνία), με περιστρεφόμενη βαλβίδα (D-Ring) και κλίμακα μέτρησης 0-300mmHg και με ακρίβεια  $\pm 3$ mmHg.

#### **Ηλεκτροκαρδιογράφημα**

Ο ηλεκτροκαρδιογράφος (ΗΚΓ) έλεγχος έγινε με καταγραφή 12 απαγωγών. Η καταγραφή γινόταν καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμασίας, και στα 4 στάδια ενώ οι τιμές που καταγράφονταν αποθηκεύονταν αυτόματα κάθε 30s.

#### **Κορεσμός αρτηριακού οξυγόνου (οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός)**

Ο κορεσμός του αρτηριακού οξυγόνου ( $O_2$ ) έγινε με παλμική οξυμετρία ( $SpO_2$ ), συνεχή καταγραφή και στα 4 στάδια (Master Screen CPX, VIASYS Health Care, Γερμανία).

#### **Κλίμακα δύσπνοιας και κόπωσης κάτω άκρων**

Για τον προσδιορισμό της δύσπνοιας και κόπωσης κάτω άκρων χρησιμοποιήθηκαν οι βαθμονομημένες κλίμακες Borg και καταγράφηκαν οι τιμές για το καθένα βάσει της εκτίμησης του δοκιμαζόμενου.

#### **Κριτήρια ολοκλήρωσης δοκιμασίας**

Η δοκιμασία θεωρήθηκε ότι ολοκληρώθηκε όταν εμφανιζόταν κατά την εξέταση μια από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- α) το πηλίκο ανταλλαγής αερίων (RER) ήταν  $\geq 1.10$ ,
- β) η καρδιακή συχνότητα ήταν  $\geq 80\%$  της μέγιστης προβλεπόμενης τιμής ( $220 \text{ beats}^{-1}$  - ηλικία)
- γ) όταν εμφανιζόταν επιπέδωση (plateau) της  $\dot{V}O_2$  ενώ συνεχίζονταν η αύξηση των watts, σύμφωνα με την οδηγίες της ATS [40].

#### **Περιβαλλοντολογικές συνθήκες**

Η κάρδιο-αναπνευστική δοκιμασία κόπωσης έγινε από τον ίδιο εξεταστή. Οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες κατά την δοκιμασία ήταν σε θερμοκρασία δωματίου  $24 \pm 0.5$  °C, με υγρασία  $37 \pm 1$  % , με βαρομετρική πίεση  $1002 \pm 10$  mmHg και σε υψόμετρο 90-m.

#### **4.4.4 Μέτρηση μέγιστου έργου (max load)**

Η μέτρηση του μέγιστου έργου στο κυκλοεργόμετρο προκύπτει το τελευταίο sec της καρδιοαναπνευστικής δοκιμασίας κόπωσης και την ίδια στιγμή που έχουμε και την μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_{2max}$ ) και μετριέται σε Watt.

#### **4.4.5 Η διαδικασία μέτρησης της FEV1**

Η μέτρηση του ταχέως εκπνεόμενου όγκου αέρα το 1o sec (FEV1), πραγματοποιήθηκε στο Εργοσπιρομετρικό Κέντρο της Πνευμονολογικής κλινικής του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου Λάρισας. Πριν την ΚΑΔΚ οι αθλητές, φόρεσαν την μάσκα ελεγχόμενης εισροής και εκροής  $O_2$  και  $CO_2$  αντίστοιχα, και καθήμενοι στο κυκλοεργόμετρο τους ζητήθηκε να πάρουν μία μέγιστη εισπνοή και στην συνέχεια να εκπνεύσουν το μέγιστο δυνατό ποσό αέρα, όσο ταχύτερα μπορούν.

#### **4.4.6 Αιματολογικές εξετάσεις**

Στους αθλητές, έγινε εξέταση γενικής αίματος, την ίδια ημέρα, που υποβλήθηκαν στην καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης, πριν και μετά την μετάβαση και επιστροφή από το Hintertux, αμέσως, πριν την δοκιμασία. Από τις παραμέτρους της γενικής αίματος, εκτιμήθηκε, η μεταβολή του αιματοκρίτη, στον κάθε αθλητή, πριν και μετά την διαμονή, και προπόνηση στην Αυστρία.

#### **4.4.7 Δύναμη κάτω και άνω άκρων**

Οι μετρήσεις των κάτω και άνω άκρων έγιναν στο Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Λάρισας και συγκεκριμένα στο εργοσπιρομετρικό κέντρο της Πνευμονολογικής Κλινικής. Έγιναν δύο μετρήσεις σε κάθε αθλητή, μία πριν και μία αμέσως μετά την επιστροφή από την Αυστρία.

- Για την δύναμη των κάτω άκρων χρησιμοποιήθηκε μια μετροταινία, η οποία τοποθετήθηκε στο δάπεδο. Η αρχή της μετροταινίας ορίστηκε ως το αρχικό σημείο της μέτρησης του αθλητή, όπου και τοποθέτησε της μύτες των παπουτσιών του. Από αυτό το σημείο, και όντας σε χαλαρή όρθια θέση, πραγματοποίησε 2 δοκιμαστικά άλματα και 3 μετρήσιμα. Τα άλματα ήταν επιτόπια, κατά μήκος της μετροταινίας, και το σημείο προσγείωσης μετρήθηκε σαν μέγιστο. Το μεγαλύτερο από τα 3 μετρήσιμα άλματα κρατήθηκε ως μέγιστο και στις 2 μετρήσεις. Ο αριθμός του δείγματος που συμμετείχε ήταν  $N=10$
- Η δύναμη των άνω άκρων μετρήθηκε με την δοκιμασία κάμψεων στο έδαφος για 60sec. Η δοκιμασία ήταν μέγιστη και στο τέλος των 60sec σημειώθηκε ο αριθμός των κάμψεων ως μέγιστος.

#### **4.5 Στατιστική ανάλυση**

Η στατιστική ανάλυση που έγινε, αφορά μια περιγραφική μελέτη παρατήρησης με ανεξάρτητη μεταβλητή αθλητές του αλπικού σκι. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν έγινε με το στατιστικό πακέτο IBM SPSS Version 23 και τη χρήση του test σύγκρισης κατά ζεύγη t test (paired sample t-test). Η διαφορά ανάμεσα στις μέσες τιμές μίας συγκεκριμένης παραμέτρου θεωρείται στατιστικά σημαντική, όταν η τιμή του t είναι μεγαλύτερη ή ίση του 2 ( $t \geq 2$ ), οπότε και η πιθανότητα του λάθους είναι κάτω του 5% ( $p < 0,05$ ) [43].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον Πίνακα 2, παρατίθενται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων, που έγιναν και στους 22 χιονοδρόμους κατά την παραμονή και προπόνησή τους στις Αυστριακές Άλπεις.

ΗΜΕΡΑ	Ωρα	Υψόμετρο	Κ.Σ.	SpO2
1	07:00	790m	80,77	97,54
	12:00	3250m	106,7	93,5
	21:00	790m	82,73	98,3
10	07:00	790m	87,77	98,1
	12:00	3250m	106	94
	21:00	790m	86,81	98

*Πίνακας 2 : Μετρήσεις κατά την παραμονή και προπόνηση στο Hintertux.*

Οι μετρήσεις στις 07:00 και 21:00 έγιναν μετά την πρωινή αφύπνιση και πριν την νυκτερινή κατάκλιση, σε υψόμετρο 720 m. Στις 12:00 έγιναν σε υψόμετρο 3250 m, αμέσως μετά το πέρας της καθημερινής προπόνησης.

*Επεξήγηση συμβόλων* : Κ.Σ.=Καρδιακή συχνότητα (παλμοί/sec), SpO2=Οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός (%).

### 5.1 ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

#### 5.1.1 Καρδιακή συχνότητα ηρεμίας στις 7:00 π.μ.

Την 10η ημέρα, η μέση τιμή της καρδιακής συχνότητας ηρεμίας στις 07:00 αυξήθηκε σε 88 παλμούς/sec, σε σύγκριση με την 1<sup>η</sup>, που ήταν 81 παλμοί/sec. Η αύξηση ήταν στατιστικά σημαντική { $t = - 2,41$ ,  $p = 0.026$ } (Εικόνα 6).



*Εικόνα 6. Μέση καρδιακή συχνότητα ηρεμίας το πρωί πριν την έναρξη της περιόδου των προπονήσεων και μετά το τέλος αυτών. (Κ.Σ. = Μέση Καρδιακή Συχνότητα)*

### 5.1.2 Καρδιακή συχνότητα ηρεμίας στις 21:00 μ.μ.

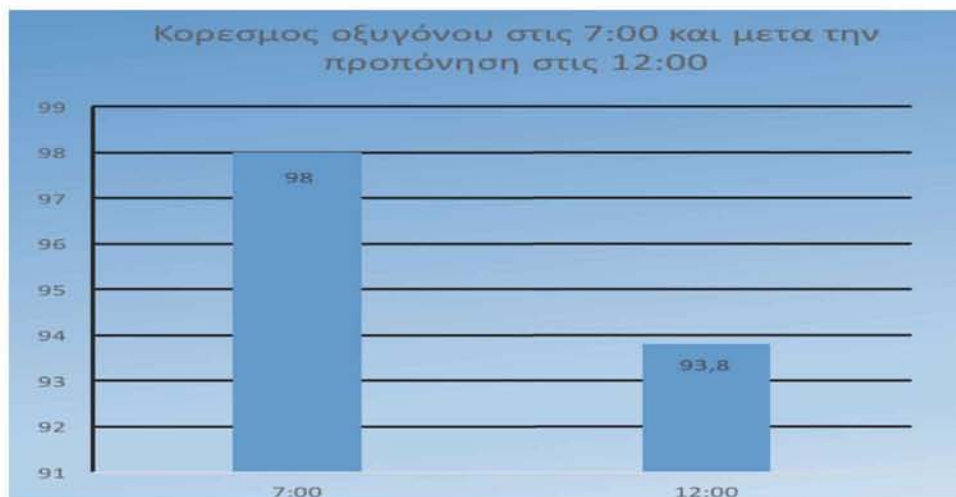
Στατιστικά σημαντική αύξηση στην μέση καρδιακή συχνότητα (ΚΣ) ηρεμίας σε 89 παλμούς/min, σημειώθηκε και το βράδυ πριν τον ύπνο, στις 21:00 την 10<sup>η</sup> ημέρα, σε σύγκριση με τους 83 παλμούς/λεπτό, την 1<sup>η</sup> {  $t=-2,21$ ,  $P=0.038$  } (Εικόνα 7).



*Εικόνα 7. Μέση καρδιακή συχνότητα ηρεμίας το βράδυ στις 21.00, την 1<sup>η</sup> και την 10<sup>η</sup> ημέρα των προπονήσεων. (Κ.Σ. = Μέση Καρδιακή Συχνότητα).*

### 5.1.3 Οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός

Η μέση τιμή του οξυαιμοσφαιρινικού κορεσμού στις 07: 00, αμέσως μετά την πρωινή αφύπνιση από τον ολονύκτιο ύπνο στο υψόμετρο των 720 m, ήταν 98%. Το μεσημέρι στις 12:00 αμέσως μετά το τέλος της προπόνησης στην τεχνική και γιγαντιαία τεχνική κατάβαση, ήταν 93,8%. Η διαφορά, μεταξύ των δύο μετρήσεων ήταν στατιστικά σημαντική  $\{t=20,884 \text{ } p=0,000001\}$ . (Εικόνα 8)



Εικόνα8. Μέση τιμή του οξυαιμοσφαιρινικού κορεσμού στις 07: 00 σε υψόμετρο 720 m. , σε σύγκριση με την τιμή μετά την προπόνηση στις 12:00 και σε υψόμετρο 3250 m.

### 5.2 Πίνακας παραμέτρων πριν και μετά την επιστροφή από το υψόμετρο

παράμετρος	Πριν	Μετά	% διαφορά	P value
Vo2max(ml/min/kg)	48,4	46,47	-4,1%	0,2
Fev1(lt)	3,7	3,7	0%	
Max load(watts)	242,7	256,3	5,6%	0,046
Αιματοκρίτης	39,85	42,21	5,9%	0,002
PET CO2(mmHg)	29,96	30,17	0,7%	0,7
PET O2(mmHg)	122,21	122,80	0,5%	0,37
ΔΥΝΑΜΗ ΑΝΩ ΑΚΡΩΝ(rep)	37,6	48,9	30%	0,00007
ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΤΩ ΑΚΡΩΝ(cm)	188,8	203,3	7,6%	0,000004

Πίνακας 3 : Μετρήσεις, πριν την μετάβαση και μετά την επιστροφή από το Hintertux (N=10)

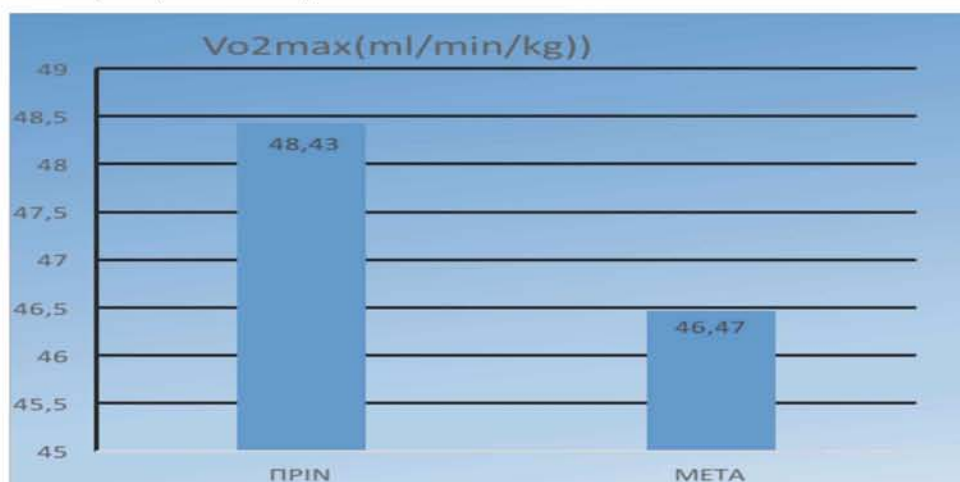


### Επεξήγηση συμβόλων :

- $VO_{2max}$ =Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου,
- $FEV_1$ = ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα το 1<sup>ο</sup> sec
- Max load=Μέγιστο έργο,
- Hct=Αιματοκρίτης,
- $PETCO_2$  (End-tidal tension of  $CO_2$ ) =Τελοεκπνευστική μερική τάση του διοξειδίου του άνθρακα),
- $PETO_2$  (End-tidal tension of  $O_2$ ) =Τελοεκπνευστική μερική τάση του οξυγόνου),
- Δύναμη άνω άκρων=αριθμός κάμψεων,
- Δύναμη κάτω άκρων=Μήκος επιτόπιου άλματος (εκατοστόμετρα).

#### 5.2.1 Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_{2max}$ )

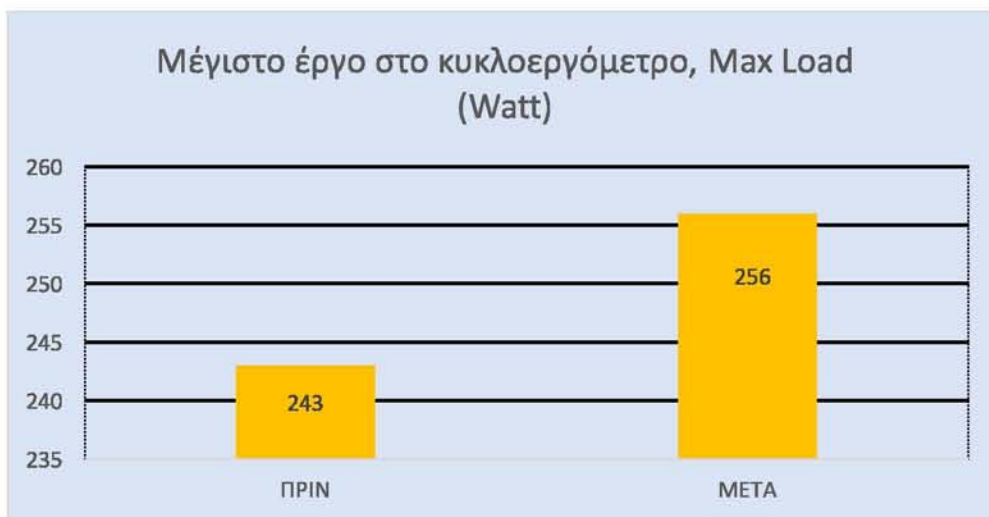
Στις δύο εργοσπιρομετρικές δοκιμασίες κόπωσης, που έγιναν στους δέκα αθλητές, πριν την μετάβαση και μετά την επιστροφή από την Αυστρία, δεν διαπιστώθηκε στατιστικά σημαντική μεταβολή στη μέση τιμή της μέγιστης πρόσληψης του οξυγόνου  $\{t=1,4, p=0.2\}$ . Αντίθετα, καταγράφηκε, μία τάση μείωσής της, από 48,43 ml/min/kg σε 46,47 ml/min/kg, μετά την επιστροφή από την Αυστρία (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Μέση τιμή, της μέγιστης πρόσληψη οξυγόνου, πριν και μετά την προετοιμασία των 10 ημερών στο Hintertux. ( $VO_{2max}$  = Μέγιστη Κατανάλωση Οξυγόνου).

### 5.2.2 Μέγιστο έργο στο κυκλοεργόμετρο

Το μέγιστο έργο στην δοκιμασία κόπωσης στο κυκλοεργόμετρο, ανήλθε στα 256 Watts σε σύγκριση με τα 243 Watts που ήταν πριν την μετάβαση και προπόνηση στο Hintertux (Εικόνα 5). Η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική  $\{t=-2,310, p=0,046\}$  (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Μεταβολή του μέγιστου έργου πριν και μετά την προετοιμασία των 10 ημερών στο Hintertux.

### 5.2.3 Ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα το 1<sup>ο</sup> sec (FEV1)

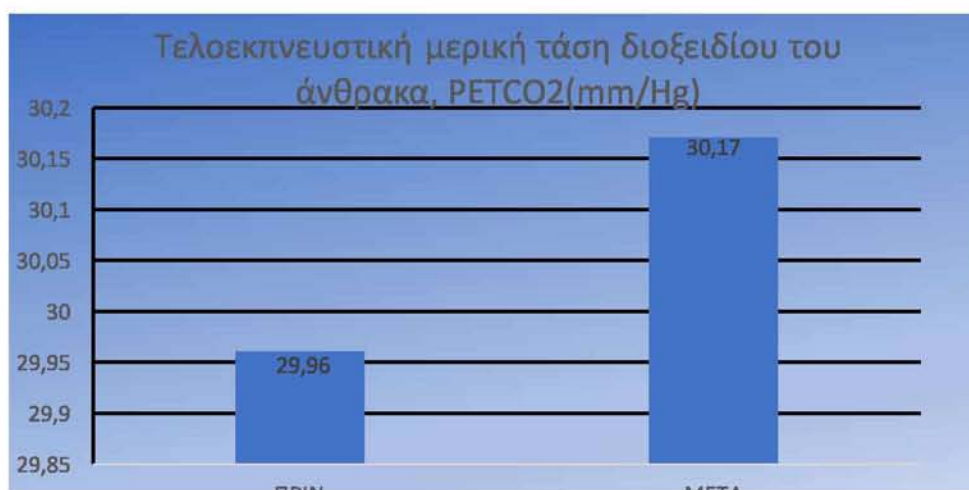
Ο ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα το 1<sup>ο</sup> sec (FEV1) πριν την μετάβαση στο Hintertux και μετά την επιστροφή στον Βόλο δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική μεταβολή. Η μέση τιμή της ήταν 3,76 lt πριν την προετοιμασία και 3,68 lt, μετά  $\{t=1,28$  και  $p=0,23\}$



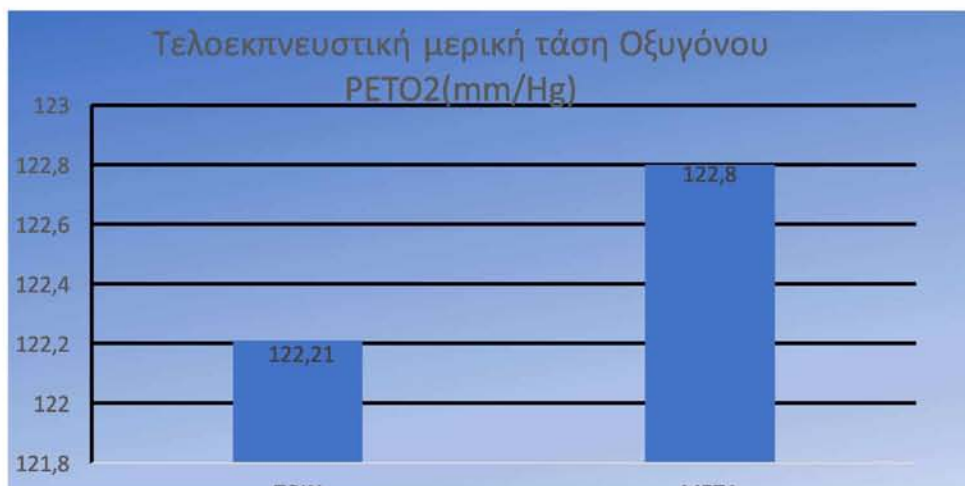
Εικόνα 11, Μέση τιμή της FEV1 πριν και μετά την προετοιμασία 10 ημερών στο υψόμετρο.

#### 5.2.4 Τελοεκπνευστική μερική πίεση διοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου

Η τελοεκπνευστική μερική πίεση τόσο για το οξυγόνο όσο και για το διοξείδιο του άνθρακα, δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά μετά την επιστροφή από την Αυστρία, σε σύγκριση με τις τιμές πριν από την αναχώρηση για τις Άλπεις. Η PETCO<sub>2</sub>, ήταν 29,96 mmHg πριν και 30,17 mmHg μετά την επιστροφή ( $p=0,7$ ), και η PETO<sub>2</sub> ήταν 122,21 mmHg πριν και 122,80 mmHg μετά ( $p=0,37$ ). (Εικόνες 12 και 13).



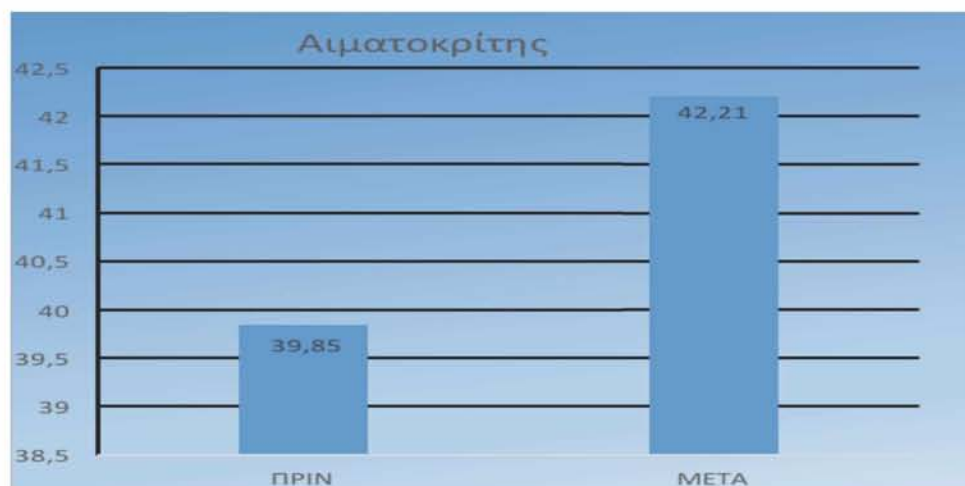
Εικόνα 12. Τελοεκπνευστική πίεση διοξειδίου του άνθρακα (PETCO<sub>2</sub>) πριν και μετά την παραμονή στο Hintertux.



Εικόνα 13. Τελοεκπνευστική πίεση οξυγόνου (PETO2) πριν και μετά την παραμονή στο Hintertux

### 5.2.5 Αιματοκρίτης

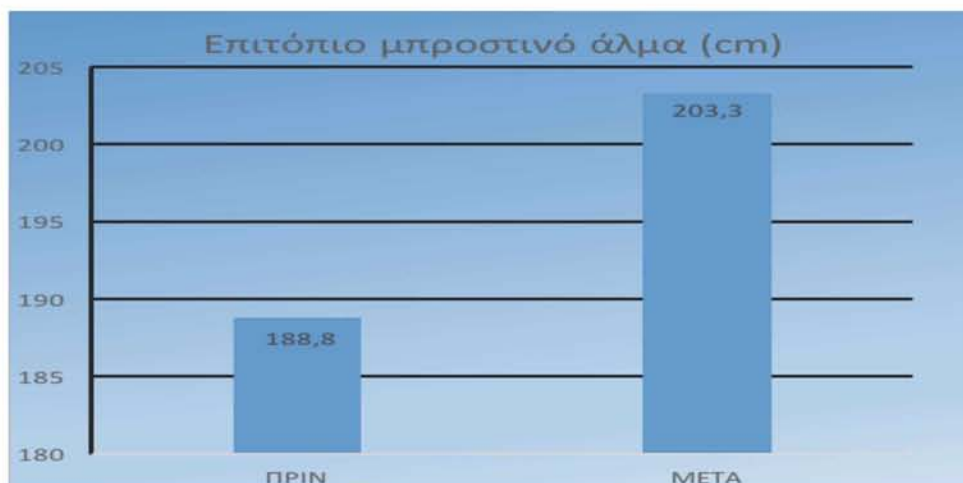
Η μέση τιμή του αιματοκρίτη μετά την προετοιμασία στο Hintertux, ανήλθε στο 42,21%, από 39,85% που ήταν πριν την μετάβαση τους. Η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική  $\{t=-4,401, p=0,002\}$  (Εικόνα 14).



Εικόνα 14. Μεταβολή του αιματοκρίτη πριν και μετά την προετοιμασία των 10 ημερών στο Hintertux.

### 5.2.6 Δύναμη κάτω άκρων

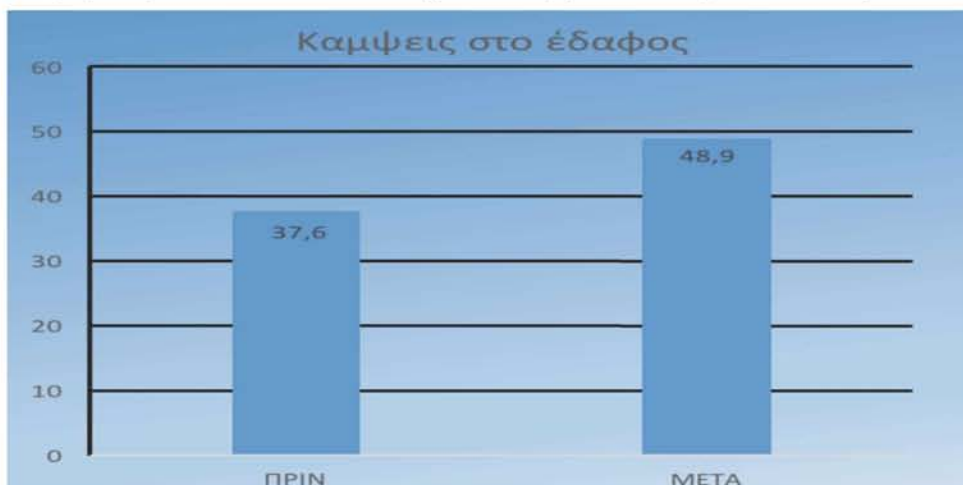
Το μήκος του επιτόπιου άλματος προς τα εμπρός σαν δείκτης της δύναμης των κάτω άκρων, ανήλθε στα 203,3 cm, μέση τιμή, σε σύγκριση με τα 188,8 cm που ήταν πριν την προετοιμασία στο Hintertux. Η αύξηση αυτή ήταν στατιστικά σημαντική  $\{t=-9,813, p=0,000004\}$  (Εικόνα 15).



Εικόνα 15. Μεταβολή της δύναμης των κάτω άκρων πριν και μετά την προετοιμασία των 10 ημερών στο Hintertux.

### 5.2.7 Δύναμη άνω άκρων

Ο αριθμός των κάμψεων που μπορούσαν να επιτύχουν μέσα σε 60sec, σαν δείκτη της δύναμης στα άνω άκρα, αυξήθηκε, στις 48,9, μέσος όρος, σε σύγκριση με τις 37,6 που ήταν πριν την προετοιμασία στο Hintertux. (Εικόνα 16). Η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική  $\{t=-6,92, p=0,00007\}$



Εικόνα 16. Μεταβολή της δύναμης των άνω άκρων, πριν και μετά την προετοιμασία των 10 ημερών στο Hintertux.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην μελέτη αυτή, η ομάδα αθλητών χιονοδρομίας του ΕΟΣ Βόλου, αποτελούμενη από δέκα χιονοδρόμους ηλικίας 11 έως 16 ετών, μελετήθηκε πριν, κατά και μετά, την για 10 ημέρες, παραμονή σε υψόμετρο 720m και χιονοδρομία σε υψόμετρο 3250 m, στο Hintertux της Αυστρίας. Η επιλογή του υψομέτρου των 3250 m, είναι παρόμοια με τα υψόμετρα όπου γίνονται οι περισσότεροι αγώνες χιονοδρομίας [4]. Υπάρχουν στοιχεία που υποστηρίζουν ότι το εύρος των υψομέτρων μεταξύ 3000 και 4000m είναι το βέλτιστο ώστε ο χιονοδρόμος, να επωφεληθεί από την μείωση του συντελεστή τριβής με τον ατμοσφαιρικό αέρα, που μειώνεται κατά 29,5% έως 39,3% [4,15]. Η μείωση αυτή της τριβής αντιρροπεί την αναπόφευκτη για τους περισσότερους, λόγω του υψομέτρου, μείωση της μέγιστης πρόσληψης του οξυγόνου που κυμαίνεται από 18,9% μέχρι 25,2% [6]. Επισημαίνεται, ότι αυτό το εύρος των υψομέτρων είναι διαφορετικό από το ενδεικνυόμενο για τους δρομείς μεγάλων αποστάσεων που κυμαίνεται μεταξύ 2085m και 2450 m [22].

#### 6.1. Καρδιακή συχνότητα σε ηρεμία

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα παρατηρείται, στατιστικά σημαντική αύξηση στην καρδιακή συχνότητα ηρεμίας στις μετρήσεις που έγιναν στις 7:00 π.μ. και στις 21:00 μ.μ. την 10<sup>η</sup> μέρα, δηλαδή την τελευταία ημέρα της προετοιμασίας, συγκριτικά με την 1<sup>η</sup>, όπου οι αθλητές ήταν ξεκούραστοι.

Πρέπει να τονισθεί, ότι η καρδιακή συχνότητα στην ηρεμία, θεωρείται ως ένας δείκτης φυσικής κατάστασης και επίσης ως δείκτης κόπωσης και προσαρμογών του σώματος στο υψόμετρο [44]. Πρέπει να θεωρείται αναμενόμενο το γεγονός της στατιστικά σημαντικής αύξησης της μέσης τιμής της Κ.Σ. σε ηρεμία, διότι οι αθλητές κατά την διάρκεια των 10 ημερών προετοιμασίας κουράστηκαν μυϊκά λόγω της έντονης αναερόβιας προσπάθειας που έκαναν κατά την διάρκεια της προπόνησης.

Το υψόμετρο, από μόνο του αυξάνει την καρδιακή συχνότητα ηρεμίας στους υγιείς ανθρώπους, μέσω της διέγερσης χημειουποδοχέων του αρτηριακού τοιχώματος, που ενεργοποιούνται από την μειωμένη μερική τάση του οξυγόνου στο αίμα. Η ενεργοποίησή τους, συνεπάγεται αναστολή του παρασυμπαθητικού

νευρικού συστήματος ή διέγερση του συμπαθητικού ή/και συνδυασμό και των δύο, με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της καρδιακής συχνότητας και την μείωση της διακύμανσης της καρδιακής συχνότητας (reduced heart rate variability) [44]. Με τον ίδιο μηχανισμό αυξάνεται και ο πνευμονικός αερισμός, μέσω της αύξησης της συχνότητας και του εύρους των αναπνοών [44].

## **6.2. Μεταβολή του Αιματοκρίτη**

Ο αιματοκρίτης, αυξήθηκε στατιστικά σημαντικά και ανήλθε στην μέση τιμή του 42,21%, από 39,85% που ήταν πριν την μετάβαση στον χώρο διαμονής και προπόνησης (αύξηση της μέσης τιμής κατά 5,9%). Ο αιματοκρίτης είναι μία απλή και εύκολη εργαστηριακή εξέταση με περιορισμούς όμως στην εκτίμηση της μάζας των ερυθρών αιμοσφαιρίων, που είναι το ζητούμενο. Οι περιορισμοί οφείλονται στην σχετική αφυδάτωση που συμβαίνει κατά την μακροχρόνια παραμονή και άσκηση σε υψόμετρο [4]. Πρέπει ωστόσο να τονισθεί, ότι η μέτρηση του αιματοκρίτη έγινε τρεις ημέρες μετά την επιστροφή στο επίπεδο της θάλασσας, χρονικό διάστημα αρκετό για την μερική ή/και πλήρη αποκατάσταση του φυσιολογικού όγκου των υγρών του σώματος.

Ερέθισμα για την αύξηση της παραγωγής ερυθρών αιμοσφαιρίων, είναι η υποοξυγοναιμία που αυξάνει την έκκριση ερυθροποιητίνης από τους νεφρούς. Στους αθλητές της ομάδας του ΕΟΣ Βόλου, ο μέσος οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός, κατά την πρωινή αφύπνιση, μετά τον νυκτερινό ύπνο, στα 720 m, ήταν 0,98 ενώ το απόγευμα μετά το πέρας της προπόνησης στα 3250m, έπεφτε στο 0,94 (στα 3250 m). Η διαφορά ανάμεσα στις δύο μετρήσεις πιστοποιεί ότι, οι αθλητές του ΕΟΣ Βόλου διατελούσαν σε καθεστώς διαλείπουσας υποοξυγοναιμίας για δέκα ημέρες, επί έξι περίπου ώρες την ημέρα που προπονούντο στα 3250 m. Στις υπόλοιπες δέκα οκτώ ώρες που έμεναν στα 720m, ο οξυαιμοσφαιρινικός κορεσμός, ελάχιστα έως καθόλου απείχε από το φυσιολογικό. Στην πράξη, οι χιονοδρόμοι του ΕΟΣ Βόλου ακολουθούσαν το πρότυπο “live low – train high” σε αντίθεση, με το “live high – train low”.

Η ερυθροποιητίνη, αρχίζει να αυξάνεται με το τέλος του πρώτου 24ώρου της παραμονής σε υψόμετρο και μετά από μία εβδομάδα συνεχούς παραμονής, υποχωρεί στα αρχικά επίπεδα, με την αύξησή της να είναι ευθέως ανάλογη προς το υψόμετρο. Κατά τους ερευνητές, αυτό πιθανότατα σημαίνει ότι, η

όποια αύξηση της τιμής της αιμοσφαιρίνης, έχει ολοκληρωθεί με το τέλος της πρώτης εβδομάδας, οπότε, και η ερυθροποιητίνη επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα [22].

### **6.3. Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_2 \max$ ), Τελοεκπνευστική μερική πίεση του $CO_2$ ( $PETCO_2$ ) και του $O_2$ ( $PETO_2$ ), ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα το 1<sup>ο</sup> sec ( $FEV_1$ ), και Μέγιστο έργο κάτω άκρων ( $\max$ load)**

#### **6.3.1. Μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_2 \max$ )**

Παρατηρείται, μια στατιστικά μη σημαντική, μικρή, μείωση στην μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου ( $VO_2 \max$ ) μετά το πέρας της 10ήμερης προετοιμασίας, συγκριτικά με τις μετρήσεις που έγιναν πριν από αυτήν.

Μελέτες έχουν δείξει, ότι αθλητές χρησιμοποιούν την παραμονή σε υψόμετρο, σαν τρόπο αύξησης της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου, για να επιτύχουν καλύτερα αποτελέσματα όταν αγωνίζονται σε χαμηλότερα ύψη ή ακόμη περισσότερο, στο επίπεδο της θάλασσας. Δηλαδή, προσπαθούν να διαμένουν σε μεγαλύτερο υψόμετρο για χρονικό διάστημα δέκα ή περισσότερων ημερών και να προπονούνται χαμηλότερα. Αυτή η προπονητική μέθοδος είναι γνωστή σαν “live high – train low” και χρησιμοποιείται κυρίως από επαγγελματίες αθλητές μεγάλων αποστάσεων στους οποίους όπως είναι γνωστό, πρωταρχικό ρόλο διαδραματίζει ο αερόβιος μεταβολισμός[22].

Στην δική μας μελέτη, οι αθλητές μένουν σε υψόμετρο 720m και προπονούνται στα 3250m καθημερινά, δηλαδή προπονούνται ψηλά και, στην ουσία διαμένουν χαμηλά (train high-live low). Φαίνεται, ότι η διαμονή σε σχετικά χαμηλό υψόμετρο για τις περισσότερες ώρες της ημέρας περιορίζει την υποοξυγοναιμία τόσο στην διάρκειά της όσο και στην βαρύτητά της. Η μη αύξηση της  $VO_2 \max$  αμέσως μετά την προετοιμασία, μπορεί να οφείλεται στην διαλείπουσα, και όχι συνεχή υποοξυγοναιμία, όπως περιεγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο που εικάζεται ότι, μπορεί να περιορίζει την αύξηση της έκκρισης ερυθροποιητίνης από τους νεφρούς. Ενδέχεται, όμως, και το είδος της προπόνησης, που περιλαμβάνει τεχνική και γιγαντιαία τεχνική κατάβαση, να συνέβαλε στην μη αύξηση της μέγιστης κατανάλωσης του οξυγόνου, διότι πρόκειται για αθλήματα που βασίζονται κατά 60%, τουλάχιστον, στην αναερόβια παραγωγή ενέργειας [18,19].



Η αύξηση του αιματοκρίτη, χωρίς παράλληλη αύξηση και της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, δεν είναι ανεξήγητη. Ο συσχετισμός τους, είναι μεν γραμμικός, αλλά το  $r^2$  είναι 0,15, δηλαδή μόνο το 15% από τις μετρήσεις βρίσκονται επάνω στην γραμμή συσχέτισης, με το υπόλοιπο 85% να διασπείρεται, σε διαφορετικές αποστάσεις, εκατέρωθεν αυτής. Αυτό σημαίνει, ότι και άλλοι παράγοντες συμμετέχουν στην αύξηση της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, σε κυτταρικό επίπεδο, όπως είναι η έξοδος από τα μυϊκά κύτταρα υδρογόνου, διττανθρακικών και γαλακτικού οξέος, όπως και μεταβολές στα μιτοχόνδρια, στην σύνθεση και αποδόμηση μυϊκών πρωτεϊνών και στον τύπο των μυϊκών ινών[26,27,28].

### **6.3.2 Τελοεκπνευστική μερική πίεση του CO<sub>2</sub> (PETCO<sub>2</sub>) και του O<sub>2</sub> (PETO<sub>2</sub>)**

Η μερική πίεση του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα, στο τέλος της εκπνοής είναι στην πράξη η μερική τάση των αερίων αυτών, μέσα στον κυψελιδικό αέρα.

Σε άτομα με φυσιολογικούς πνεύμονες όπως είναι οι αθλητές μας, η PETCO<sub>2</sub> και η PETO<sub>2</sub>, ελάχιστα αποκλίνουν από τις μερικές πιέσεις αυτών των αερίων, μέσα στο αρτηριακό αίμα. Κατά συνέπεια, με την μέτρηση αυτών των δύο παραμέτρων, η οποία είναι εύκολη και γίνεται αυτόματα από το μηχάνημα, κατά την ΚΑΔΚ, επιτυγχάνεται μία πολύ ακριβής εκτίμηση, του τί συμβαίνει στο αρτηριακό αίμα από πλευράς αυτών των αερίων.

Σε συνθήκες ηρεμίας, οι φυσιολογικές τιμές είναι για μεν την PETCO<sub>2</sub> 36-42 mmHg, ενώ, για την PETO<sub>2</sub> 90 mmHg. Στην άσκηση η PETO<sub>2</sub>, αυξάνει ώστε, να ικανοποιείται η αυξημένη ζήτηση οξυγόνου από τους μύες. Η PETCO<sub>2</sub>, στην αρχή της άσκησης αυξάνει λίγο (3-8 mmHg), αλλά καθώς η άσκηση εντείνεται, μειώνεται κάτω από τα επίπεδα ηρεμίας. Αυτό συμβαίνει από την υπέρπνοια, λόγω της μεταβολικής οξέωσης από την παραγωγή γαλακτικού οξέος, μετά την υπέρβαση του αερόβιου ουδού. Η μέγιστη δηλαδή τιμή του PETCO<sub>2</sub>, σηματοδοτεί, την επίτευξη της αναερόβιας ουδού. Σε αθλητές αντοχής που ακολουθούν πολύ εντατικό πρόγραμμα προπόνησης, μπορεί η PETCO<sub>2</sub> να φθάσει και τα 62,6 mmHg αντιστοιχώντας στην πολύ υψηλή αναερόβια ουδό[45].

Επομένως οι χαμηλές τιμές του PETCO<sub>2</sub> και στις δύο ΚΑΔΚ, (29,96 και 30,17 mmHg), πιστοποιούν ότι οι αθλητές μας υποβλήθηκαν σε μέγιστη δοκιμασία κόπωσης.

### **6.3.3 Ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα το 1<sup>ο</sup> sec (FEV<sub>1</sub>)**

Ο ταχέως εκπνεόμενος όγκος αέρα το 1<sup>ο</sup> sec (FEV<sub>1</sub>), δεν παρουσίασε στατιστικά σημαντική μεταβολή στην μέτρηση που έγινε αμέσως μετά την επιστροφή στον Βόλο από το Hintertux. Η FEV<sub>1</sub> είναι δείκτης απόφραξης των αεραγωγών. Σε φυσιολογικά άτομα όπως στους χιονοδρόμους, στην δική μας περίπτωση, κατά την άσκηση ενδέχεται να επέλθει βρογχοδιαστολή, με συνοδό μείωση των αντιστάσεων και αύξηση της FEV<sub>1</sub>. [22] Το αποτέλεσμα αυτό είναι παροδικό και υποχωρεί μετά το πέρας της άθλησης. Από την προσιτή σε εμάς βιβλιογραφία, δεν έχει προκύψει, ότι προπόνηση διάρκειας δέκα ημερών, μπορεί να επιφέρει μόνιμη μεταβολή στην FEV<sub>1</sub>.

### **6.3.4 Μυϊκή ισχύς**

Παρά, όμως, την ανυπαρξία στατιστικά σημαντικής αύξησης της μέγιστης κατανάλωσης οξυγόνου, το μέγιστο έργο των κάτω άκρων στο κυκλοεργόμετρο, αυξήθηκε, σε στατιστικά σημαντικό βαθμό κατά την καρδιαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης, μετά την επιστροφή από το Hintertux (σε 256, από 243 Watts,  $p < 0,05$ ).

Προς την ίδια κατεύθυνση, αυτή δηλαδή, της αύξησης της μυϊκής ισχύος μετά την επιστροφή από το Hintertux, είναι και τα αποτελέσματα των δοκιμασιών εκτίμησης της δύναμης των κάτω άκρων με επιτόπιο άλμα προς τα εμπρός, αλλά και της δύναμης των άνω άκρων με κάμψεις πάνω στο έδαφος. Τα επιτόπια άλματα προς τα εμπρός, αυξήθηκαν από 188,8 σε 203,3 cm ( $p = 0,000004$ ). Ο αριθμός των κάμψεων πάνω στο έδαφος, αυξήθηκαν σε 48,9, από 37,6 ( $p = 0,00007$ ).

Όσον αφορά την ερμηνεία, πρέπει οπωσδήποτε, να μην λησμονείται η θετική επίδραση της οποιασδήποτε σχετικής μυϊκής προπόνησης, στην μυϊκή ισχύ. Επιπρόσθετα, όμως, ευνοϊκή επίδραση, έχουν, και οι μυϊκές προσαρμογές, από την άσκηση στο υψόμετρο των 3250 m. Η παραμονή σε υψόμετρο έχει αναφερθεί ότι μπορεί να αυξήσει τις μυϊκές ίνες βραδείας συστολής FI, οι οποίες, στηρίζονται στον αερόβιο μεταβολισμό λόγω υπεροχής των οξειδωτικών ενζύμων από τον συνδυασμό μυϊκής προσπάθειας και

υποοξυγοναιμίας[31]. Έχει επίσης διαπιστωθεί ότι, η απλή παραμονή, για 7-9 ημέρες σε μεγάλο υψόμετρο 4559 m, διπλασιάζει την σύνθεση των πρωτεϊνών στα μυοϊνίδια, χωρίς να επιφέρει οποιαδήποτε μεταβολή, στις πρωτεΐνες του σαρκοπλάσματος[27]. Τέλος, σε μία άλλη μελέτη, παραμονής μίας ομάδας αθλητών στα 3454m υψομέτρου, για 28 ημέρες, διαπιστώθηκε, αύξηση του όγκου των μιτοχονδρίων[33]. Προϋπόθεση βέβαια για τα παραπάνω, είναι ο αθλητής να μην βρίσκεται σε αρνητικό ενεργειακό ισοζύγιο. Η ύπαρξη αρνητικού ενεργειακού ισοζυγίου κατά την παραμονή σε μεγάλα υψόμετρα, όπως προκύπτει από την μείωση του σωματικού βάρους, μπορεί να προκαλέσει ατροφία των μυϊκών ινών και μείωση του όγκου των μιτοχονδρίων [32].

#### **6.4 Συμπέρασμα**

Το προπονητικό πρότυπο, του τύπου ‘Live low – Train high”, που εφαρμόστηκε στην ομάδα χιονοδρόμων του ΕΟΣ Βόλου έφερε καλύτερες μυϊκές προσαρμογές παρά αναπνευστικές, διότι αυξήθηκε η μυϊκή ισχύς άνω και κάτω άκρων, χωρίς να αυξηθεί άμεσα η μέγιστη πρόσληψη οξυγόνου. Η μη αύξηση της μέγιστης πρόσληψης οξυγόνου δεν έχει πρωτεύουσα σημασία για την χιονοδρομία καταβάσεων, διότι το άθλημα αυτό βασίζεται κατά 60% έως 65%, τουλάχιστον στον αναερόβιο μεταβολισμό, λόγω της ταχείας εναλλαγής μυϊκών συσπάσεων[18,19,20,29]. Αυτού του τύπου οι μυϊκές συσπάσεις, ισοδυναμούν με ισομετρικές, ουσιαστικά, συσπάσεις, που εξαρτώνται κυρίως από τις FII μυϊκές ίνες, με καθυπεροχή αναερόβιο μεταβολισμό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ελληνική Ομοσπονδία Χιονοδρομίας. 2009. Ιστορία Αλπικού Σκί, 14/03/2017, από [www.EOX.gr/ιστορίες](http://www.EOX.gr/ιστορίες) αγωνισμάτων/ιστορία αλπικού σκι.
2. Προσωπική επικοινωνία με κατοίκους Ζαγοράς Πηλίου.
3. White AT, Johnson SC. Physiological Comparison of International, National and Regional Alpine Skiers. *International Journal of Sports Medicine* 1991, 12:374-378.
4. Chapman RE, Stickford JL, Levine BD. Altitude Training Considerations for the Winter Sport Athlete. *Experimental Physiology* 2010, 95(3):411-421.
5. Berg HE, Eiken O, Tesch PA. Involvement of Eccentric Muscle Actions in Giant Slalom Racing. *Med Sci Sports Exerc* 1995, 27:1666-1670.
6. Wehrlin JP, Hallen J. Linear Decrease in  $\text{VO}_2 \text{ max}$  and Performance with Increasing Altitude in Endurance Athletes. *Eur J Appl Physiol* 2006, 96:404-412.
7. Powers SK, Dodd S, Lawler J, Landry G, Kirtley M, McNight T, Grinton S. Incidence of Exercise Induced Hypoxemia in Elite Endurance Athletes at Sea Level. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988, 58:298-302.
8. Dempsey JA, Wagner PD. Exercise Induced Arterial Hypoxemia. *J Appl Physiol* 1999, 87:1997-2006.
9. Burnham KJ, Arai TJ, Dubovitz DJ, Henderson AC, Holverda S, Buxton RB, Prisk JK, Hopkins SR. Pulmonary Perfusion Heterogeneity is increased by Sustained Heavy Exercise in Humans. *J Appl Physiol* 2009, 107:1559-1568.
10. Wrobel JP, Ellis MJ, Kee K, Stuart-Andrews CR, Thompson BR. Maximal Exercise does not increase Ventilation Heterogeneity in Healthy Trained Adults 2015, 593:723-737
11. Chapman RF, Emery M, Stager JM. Pulmonary Gas Exchange Limitations in Normoxia influence the Decline in  $\text{VO}_2 \text{ max}$  in Mild Hypoxia. *Med Sci Sports Exerc* 1999, 31:658-663.
12. Brosnan MJ, Martin DT, Hahn AG, Gore CG, Hawley JA. Impaired Interval Exercise Responses in Elite Female Cyclists at Moderate Simulated Altitude. *J Appl Physiol* 2000, 89:1819-1824
13. Amann M, Eldridge MW, Lovering AT, Stickland MK, Pegelow DF, Dempsey JA. Arterial Oxygenation Influences Central Motor Output and

Exercise Performance via Effects on Peripheral Locomotor Muscle Fatigue in Humans. *J Physiol* 2006, 575:937-952

14. McCole SD, Claney K, Conte JC, Anderson P, Hagberg JM. Energy Expenditure during Bicycling. *J Appl Physiol* 1990, 68:748-753.
15. Perronet F, Bouissou P, Perrault H, Ricci J. The one hour Cycling Record at Sea-level and at Altitude. *Cycling Sci* 1991, 3:16-22.
16. Szmedra L, Im J, Nioka S, Chance B, Rundell W. Haemoglobin/Myoglobin Oxygen Desaturation during Alpine Skiing. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 2001, 33:232-236.
17. Seifert JG, Kipp RW, Amann M, Gazal O. Muscle Damage, Fluid Ingestion and Energy Supplementation during Recreational Alpine Skiing. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2005, 15:528-536.
18. Veicsternas A, Ferretti G, Margonato V, Rosa G, Tagliabue D. Energy Cost and Energy Sources for Alpine Skiing in Top Athletes. *J Appl Physiol* 1984, 56:1187-1190.
19. Saibene F, Cortili G, Gavazzi P, Magistri P. Energy Sources in Alpine Skiing (Giant Slalom). *European Journal of Applied Physiology* 1985, 55:312-316.
20. Duvillard SP. Introduction : The Interdisciplinary Approach to the Science of Alpine Skiing. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 1995, 27:303-304.
21. Neumayr G, Hoertnagl H, Pfister R, Koller A, Eibl G, Raas E. Physical and Physiological Factors, Associated with Success in Professional Alpine Skiing. *International Journal of Sports Medicine* 2003, 34:571-575.
22. Chapman RF, Karlsen T, Resaland GK, Ge RL, Harber MP, Witkowski S, Stray-Gundersen J, Levine BD. Defining the “Dose” of Altitude Training : How High to Live for Optimal Sea Level Performance Enhancement. *J Appl Physiol* 2014, 116:595-603.
23. Chapman RF, Stray-Gundersen J, Levine BD. Individual Variation in Response to Altitude Training. *J Appl Physiol* 1998, 85:1448-1456.
24. Ge RL, Witkowski S, Zhang Y, Alfrey C, Sivieri M, Karlsen T, Resaland GK, Harber M, Stray- Gundersen J, Levine BD. Deteminants of Erythropoietin Release, in Response to short-term Hypobaric Hypoxia. *J Appl Physiol* 2002, 92:2631-2637.

25. Weil JV. Sleep at High Altitude. *High Alt Med Biol* 2004, 5:180-189.
26. Saunders PU, Garvican-Lewis LA, Schmidt WF, Gore CJ. Relationship between Changes in Hemoglobin Mass and Maximal Oxygen Uptake after Hypoxic Exposure. *Br J Sports Med* 2013, 47:i26-i30.
27. Holm L, Haslund ML, Robach P, van Hall G, Calbet JAL, Saltin B, Lundby C. Skeletal Muscle Myofibrillar and Sarcoplasmic Protein Synthesis Rates are affected differently by Altitude-Induced Hypoxia in Native Lowlanders. *Plos One* 2010, 5(12):e15606.
28. Doria C, Toniodo L, Verratti V, Cancellara P, Pietrangelo T, Marconi V, Paoli A, Pogliaghi S, Fano G, Reggiani C, Capelli C. Improved VO<sub>2</sub>.
29. Ingalls CP. Nature vs Nature : Can Exercise really alter Fiber Type Composition in Human Skeletal Muscle ? *J Appl Physiol* 2004, 97:1591-1592.
30. Gollnick PD, Armstrong RB, Saubert CW, Piehl K, Saltin B. Enzyme Activity and Fiber Composition in Skeletal Muscle of Untrained and Trained Men. *J Appl Physiol* 1972, 33:312-319.
31. Doria C, Toniolo V, Verratti V, Cancellara P, Pietrangelo P, Marconi V, Paoli A, Pogliaghi S, Fano G, Reggiani C, Capelli C. Improved VO<sub>2</sub> Uptake Kinetics and Shift in Muscle Fiber Type in High-Altitude Trekkers. *J Appl Physiol* 2011, 111:1597-1605.
32. Cerretelli P, Gelfi C. Energy Metabolism in Hypoxia : Reinterpreting Some Features of Muscle Physiology on Molecular Grounds. *Eur J Appl Physiol* 2011, 111:421-432.
33. Jacobs RA, Meinild Lundby A-K, Fenk S, Gehrig S, Siebenmann C, Fluck D, Kirk N, Hilty MP, Lundby C. Twenty-eight Days of Exposure to 3454 m Increases Mitochondrial Volume Density in Human Skeletal Muscle. *J Physiol* 2016, 594.5:1151-1166.
34. Mizuno N, Savard GK, Arescog NH, Lundby C, Saltin B. Skeletal Muscle Adaptations to Prolonged Exposure to Extreme Altitude : a Role of Physical Activity? *High Altitude Medicine and Biology* 2008,9(4):311-317.
35. Grimminger J, Richter M, Tello K, Sommer N, Gall H, Ghofrani HA. Thin Air resulting in High Pressure:Mountain Sickness and Hypoxia-induced Pulmonary Hypertension. *Can Resp J* 2017,2017:838-855.

36. Weil JV, Byrne-Qinn E, Sodal IE, Filley GF, Grover RF. Acquired Attenuation of Chemoreceptor Function in Chronically Hypoxic Man at High Altitude. *The Journal of Clinical Investigation* 1971,50:186-195.
37. Klausen K, Cardiac Output in Man in Rest and Work during and after Acclimatization to 3800 m. *J Appl Physiol* 1966,21:609-616.
38. Basu M, Malhorta AS, Pal K. Erythropoietin Levels in Lowlanders and High-altitude Natives at 3450 meters. *Aviation Space and Environmental Medicine* 2007,78:963-967.
39. Luks AM, Swenson ER, Bartsch P. Acute High-Altitude Sickness. *Eur Respir Rev* 2017,160096.
40. Τρυποσκιάδης ΦΚ. Καρδιολογία, 1<sup>η</sup> έκδοση, Αθήνα, Ιατρικές Εκδόσεις Λαγός Δημήτριος, 2003:106-109.
41. Arena R et al. Assessment of Functional Capacity in Clinical and Research Settings-a Scientific Statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council of Cardiovascular Nursing. *Circulation* 2007,116(3):329-343.
42. Segura R, Javierre C, Ventura JL, Lizarraga MA, Campos B, Garrido E. A New Approach to the Assessment of Anaerobic Metabolism : Measurement of Lactate in Saliva. *Br J Sports Med* 1996,30(4):305-309.
43. Τριχόπουλος Δ. Ιατρική Στατιστική, Αθήνα, Επιστημονικά Εκδόσεις Γρηγόριος Κ. Παρισιάνος, 1975:43-58.
44. Musmanno Branco Oliveira A, de Azeredo Rohan P, Goncalves Rodrigues T, da Silva Soares P. Effects of Hypoxia on Heart Rate Variability in Healthy Individuals : a Systematic Review. *Int J Cardiovasc Sci* 2017;30(3):251-261.
45. Bussotti M, Magri D, Previtali E, Farina S, Torri A, Matturi M, Agostoni P. End-tidal Pressure of CO<sub>2</sub> and Exercise Performance in Healthy Subjects. *Eur J Appl Physiol* 2008,103(6):727-732.